

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK



FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y COMPORTAMIENTO HUMANO

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA
PUESTOS DE TRABAJO DE UNA EMPRESA DE
SEGUROS”**

Realizado por:

JAVIER GUSTAVO SALAZAR MONAR

Director del proyecto:

ING. FRANCISCO SALGADO, MSc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito, Julio del 2015

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Javier Gustavo Salazar Monar, con cédula de identidad # 060289817-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Javier Gustavo Salazar Monar

C.C.: 060289817-3

DECLARACIÓN FIRMADA DIRECTOR Y LECTORES

Los Profesores Informantes:

MSc. David Trujillo

MSc. Pablo Dávila

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador.

.....
MSc. David Trujillo

.....
MSc. Pablo Dávila

Quito, Julio de 2015

DEDICATORIA

Para Constancita y Xavito

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

a mi esposa, e hijos,

y a mis padres.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	xiii
1.1 El problema de investigación	2
1.1.1 Planteamiento del Problema	3
1.1.2 Objetivo General	3
1.1.3 Objetivos específicos	4
1.1.4 Justificaciones	4
1.2 Marco Teórico	5
1.2.1 Estado Actual del Conocimiento sobre el tema	5
1.2.1 Conceptos de Iluminación	9
1.2.1.1 Luminotécnia	9
1.2.1.2 La Luz.....	9
1.2.1.3 Óptica.....	10
1.2.1.4 Índice dimensional del local (RI)	11
1.2.1.5 Flujo luminoso ϕ_v	11
1.2.1.6 Nivel de iluminación o iluminancia E_v	11
1.2.1.7 Intensidad luminosa I_v	12
1.2.1.8 Rendimiento luminoso η	12
1.2.1.9 Incidencia de la luz sobre los cuerpos	13
1.2.1.10 Reflexión	13
1.2.1.11 Reflectancia	14
1.2.1.12 Refracción.....	15
1.2.1.13 El Deslumbramiento	15
1.2.1.14 Efecto Estroboscópico	16
1.2.1.15 Riesgos asociados.....	17
1.2.1.16 Fisiología del ojo	19
1.2.1.17 Normativa y Legislación	21
1.2.1.18 Factores de Diseño y Distribución de la luz	24
1.2.1.19 Sistemas de Distribución de la Luz	24
1.2.1.20 Tipos de iluminación	25
1.2.1.21 Tipos de Luminarias o Artefactos lumínicos.....	27
1.2.1.22 Artefactos de Iluminación Natural	30
1.2.1.23 Teoría del Diseño.....	32
1.2.2 Adopción de una Perspectiva Teórica.....	45

1.2.3 Hipótesis	45
1.2.4 Identificación y Caracterización de Variables	46
CAPÍTULO II. MÉTODO	46
2.1 Nivel de Estudio	46
2.2 Modalidad de Investigación.....	47
2.3 Método.....	47
2.4 Población y muestra.....	52
2.5 Selección de instrumentos de investigación	53
CAPITULO III. RESULTADOS	54
3.1 Presentación y análisis de resultados.....	54
3.1.1 Identificación de las tareas en las que se produce fatiga ocular	55
3.1.2 Evaluación de las condiciones de iluminación en las áreas de trabajo.....	56
3.1.3 Proposición de un diseño de un sistema de iluminación eficiente.....	61
3.2 Diseño de un sistema de iluminación eficiente	73
CAPITULO IV. CONCLUSIONES	82
4.1 Conclusiones.....	82
4.2 Recomendaciones.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Longitudes de onda de Radiaciones Visibles.....	9
Tabla 2.	Afecciones a la Salud de las Radiaciones Lumínicas	19
Tabla 3.	Niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares.....	22
Tabla 4.	Niveles mínimos de iluminación.....	23
Tabla 5.	Valores del factor j	34
Tabla 6.	Sistemas de Iluminación	36
Tabla 7.	Factor de Reflexión.....	37
Tabla 8.	Factor de mantenimiento.....	37
Tabla 9.	Zonas visuales en el puesto de trabajo.....	44
Tabla 10.	Factor de utilización.....	51
Tabla 11.	Número mínimo de puntos de medición por local.....	57
Tabla 12.	Matriz de mediciones en los puestos de trabajo.....	58
Tabla 13.	Características de las luminarias.....	62
Tabla 14.	Resumen Análisis de precios unitarios.....	63
Tabla 15.	Precio unitario luminaria incandescente.....	64
Tabla 16.	Precio unitario luminaria halógena.....	65
Tabla 17.	Precio unitario lámpara fluorescente.....	66
Tabla 18.	Precio unitario panel led.....	67
Tabla 19.	Precio unitario led tipo redondo.....	68
Tabla 20.	Costos por consumo y mantenimiento.....	70
Tabla 21.	Propuesta de tipos de luminaria.....	72
Tabla 22.	Comparación de número de luminarias en el local 3.....	75
Tabla 23.	Diseño del Sistema de iluminación.....	77

Tabla 24.	Emplazamiento de luminarias.....	79
Tabla 25.	Presupuesto del diseño.....	81
Tabla 26.	Comprobación de resultados.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Árbol de problemas.....	2
Figura 2.	Árbol de objetivos.....	4
Figura 3.	Espectro visible electromagnético.....	10
Figura 4.	Reflexión especular o dirigida.....	13
Figura 5.	Reflexión irregular.....	14
Figura 6.	Deslumbramiento.....	15
Figura 7.	Pérdida de la agudeza visual con la edad.....	18
Figura 8.	Absorción de conos y bastoncitos por longitud de onda.....	21
Figura 9.	Curva Fotométrica.....	24
Figura 10.	Sistemas de distribución de la luz.....	25
Figura 11.	Iluminación localizada.....	26
Figura 12.	Iluminación general.....	26
Figura 13.	Iluminación general.....	27
Figura 14.	Principio de la lámpara fluorescente.....	29
Figura 15.	Tubo solar de Luz.....	31
Figura 16.	Reflectores de Luz solar.....	32
Figura 17.	Índice del Local.....	34
Figura 18.	Emplazamiento de luminarias.....	39

Figura 19. Altura útil.....	40
Figura 20. Análisis punto por punto de luminarias.	43
Figura 21. Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo.	44
Figura 22. División de locales en planta.	49
Figura 23. Luxómetro.....	54
Figura 24. Ubicación de mediciones en puestos de trabajo.	55
Figura 25. Número mínimo de puntos local 1.....	57
Figura 26. Mapa de iluminancia actual.	60
Figura 27. Luminarias propuestas en el proyecto.	61
Figura 28. Comparación de costo por consume y mantenimiento.	71
Figura 29. Emplazamiento de luminarias en el local 3.	78
Figura 30. Plano eléctrico del diseño de iluminación.	80
Figura 31. Altura de montaje local 3.....	81

RESUMEN

El presente proyecto es la aplicación de conceptos de seguridad y salud ocupacional, normativa ecuatoriana e internacional, principios de luminotécnica y arquitectura. Todos estos elementos se han conjugado en un contexto de nuevas tecnologías e instrumentos como las lámparas Led para el mejoramiento de las condiciones en la iluminación de los puestos de trabajo. Su importancia radica en que el diseño del sistema de iluminación cumple con estándares que contribuyen como un factor de productividad, rendimiento en el trabajo, seguridad del personal y elementos de atracción comercial para el público. El proyecto empieza con una evaluación de las condiciones actuales de la empresa de seguros, y desarrolla un diseño ajustándose a los requerimientos del trabajador, sin dejar de lado el análisis técnico-económico que hará que su implantación sea viable y atractiva al empleador.

ABSTRACT

This project concerns the application of concepts covering occupational health and safety, Ecuadorian and international law, as well as the principles of lighting technology and architecture. All these elements have merged within a context of new technologies and tools such as LED lighting to improve illumination in the workplace. Its importance lies in the design whereby the lighting system complies with standards contributing to productivity, job performance, personnel safety while having a commercial attraction for the public. The project begins by assessing the current conditions of the insurance business, and develops a design in line with workers' requirements, without neglecting the technical-economic analysis that will make implementation possible and be attractive to the employer.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Quito, se encuentra ubicada esta Empresa de Seguros, la cual brinda servicio de venta de seguros de vida desde hace dos décadas, con el apoyo de varios colaboradores y prestadores de servicios externos de salud.

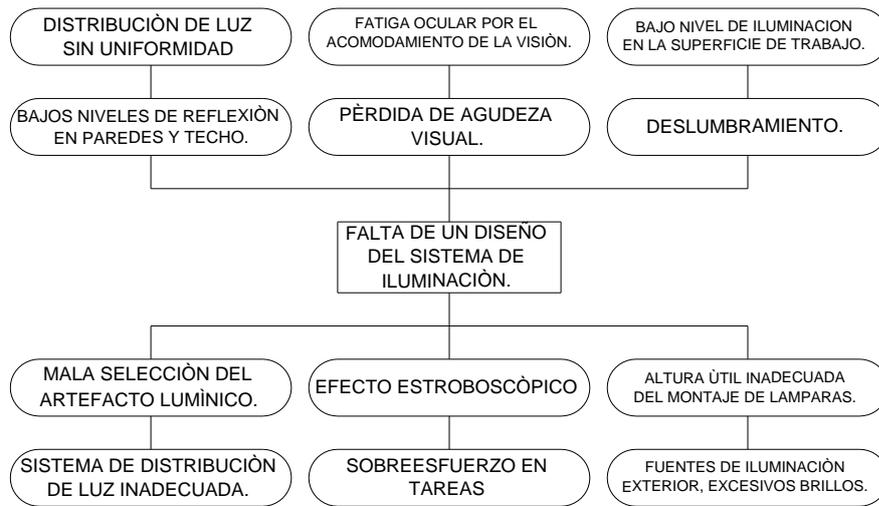
La empresa está conformada por un equipo multidisciplinario de profesionales. Por diversas razones propias de la empresa, hace dos años trasladaron sus oficinas a otra edificación, misma que fue acondicionada para sus nuevas funciones.

Esta empresa ha ganado un prestigio importante a nivel nacional en el mercado de los seguros de vida, por tal razón constantemente se encuentra en crecimiento, por esta razón se han acondicionado lugares de trabajo con el respectivo mobiliario en el mismo espacio físico, sin embargo las instalaciones eléctricas de fuerza como de iluminación no han sido modificadas provocando un acomodo de las estaciones de trabajo sin un criterio técnico que garantice el cumplimiento del mínimo nivel de iluminación sobre la superficie de trabajo.

1. El problema

Para realizar el análisis del problema se considera las causas y los efectos producidos entorno a la causa raíz, los mismos que se describen en mapa conceptual figura 1:

Figura 1. Árbol de problemas.



Fuente: Elaboración propia.

1.1 El problema de investigación

Con el constante crecimiento de la empresa, cada vez se hace imprescindible la incorporación de personal especializado en diferentes áreas de los seguros de vida, en tal virtud los espacios se encuentran en fluctuante cambio en su estructura interna, por este motivo el resultado de la distribución espacial de los ambientes no es la más óptima.

Los sistemas de iluminación y fuerza han sido realizados conforme la incorporación de lugares de trabajo, muchas veces derivando de un circuito existente nuevos puntos sin considerar los aumentos de carga y el dimensionamiento de protecciones. Lo mismo ocurre con los puntos de iluminación, así como los artefactos lumínicos en la mayoría de los casos no se reubican o reemplazan por unos que presten mayor eficiencia, produciéndose malestar en algunos puestos de trabajo.

1.1.1 Planteamiento del Problema

Desde el inicio del funcionamiento de las oficinas de seguros en el nuevo edificio, el diseño del sistema de iluminación en los puestos de trabajo evidencia que no fue realizado bajo consideraciones técnicas, debido a que los espacios fueron producto de un acondicionamiento y remodelación en las condiciones de superficie disponibles al momento, entonces la raíz del problema se halla en la falta de un diseño en el sistema de iluminación.

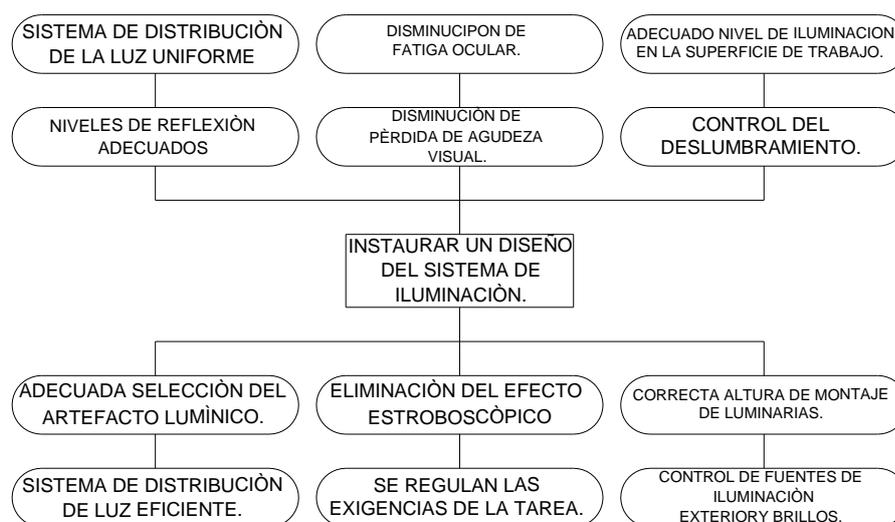
Actualmente los empleados de la empresa desarrollan sus actividades en diversas condiciones de iluminación no controladas, dependiendo de la ubicación de su estación de trabajo y la cercanía de artefactos lumínicos o ventanas.

El problema tiene mayor relevancia debido a la exigencia de varias tareas en las cuales se produce fatiga ocular, dolores de cabeza que pueden influir en desmedro de la eficacia de sus trabajadores al término o durante la jornada de trabajo. La eficacia del desempeño de los trabajadores no solo afecta su salud, sino también la producción y el crecimiento de la empresa ya que pueden producir interferencias en la continuidad del trabajo por lapsos cortos o largos.

1.1.2 Objetivo General

Diseñar un sistema de iluminación en una empresa de seguros para mejorar las condiciones de seguridad y salud ocupacional.

Figura 2. Árbol de objetivos.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 se pueden apreciar los elementos considerados para determinar los objetivos específicos.

1.1.3 Objetivos específicos

- Establecer las variables que intervienen en las condiciones de iluminación de un área de trabajo.
- Identificar las tareas en las que se produce fatiga ocular.
- Evaluar las condiciones de iluminación en las áreas de trabajo.
- Proponer un diseño de un sistema de iluminación eficiente.

1.1.4 Justificaciones

Se consideran los efectos producidos en la salud y seguridad de las personas, con el propósito de evitar accidentes y controlar que no se produzcan enfermedades ocupacionales,

servirá de referencia para establecer lineamientos y recomendaciones a cerca del uso eficiente de artefactos lumínicos, basado en la oferta del mercado y accesibilidad a la utilización en el medio.

Una iluminación inadecuada en el puesto de trabajo puede originar fatiga ocular, cansancio visual, estrés, dolor de cabeza y accidentes. Ésta investigación ayudará a establecer un mecanismo de diseño de sistemas de iluminación en puestos de trabajo que permita a la empresa mostrar su preocupación por el bienestar de los trabajadores y adicionalmente el aumento de la productividad y la reducción de costos por ausentismo o bajo rendimiento (Millán, 2012, p. 27).

El sistema de iluminación se alinea a la Legislación Ecuatoriana que promulga el cuidado de la Salud y seguridad Ocupacional, y a la realidad de las condiciones físicas en las cuales los trabajadores se encuentran cotidianamente, cumpliendo así con las normas y leyes en beneficio de la salud del trabajador.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Estado Actual del Conocimiento sobre el tema

A principios de siglo con la generación de electricidad a gran escala determinó un crecimiento en los tipos de luminarias del mercado, ya que ofrecía ventajas como: estabilidad de la luz, escaso mantenimiento, mayor seguridad de la que supone una llama al aire libre y la no utilización de productos de combustión (Foster, 2001, p. 46.2).

Posterior a la Segunda Guerra mundial donde lo importante era la productividad, la lámpara fluorescente fue la fuente de luz dominante en fábricas y oficinas ya que ofrecía espacios sin sombras y con baja generación de calor.

A medida que aumenta la conciencia de los problemas ambientales, en la actualidad factores como: materiales, reciclaje, contaminación, etc. continúa la preocupación por lograr bajo consumo de energía y una iluminación más eficiente (Foster, 2001, p. 46.2).

En los últimos años esta empresa de seguros ha mostrado un crecimiento importante en su cantidad de profesionales que la conforman, de la misma manera crecen las responsabilidades sociales y el cumplimiento de normativas: de calidad, medio ambiente y seguridad, exigiéndose así el cumplimiento de estándares mínimos para su funcionamiento y producción.

Adicionalmente en un futuro podrían acceder a certificaciones ISO muy importantes para su desempeño y prestigio institucional.

La iluminación es un elemento complementario de la etapa del diseño de los edificios o estructuras edificadas, debe ser elaborado para que las condiciones de observación sean perfectas. La cantidad y clase de iluminación sea adecuada a las actividades para las cuales fue diseñado el lugar y presente seguridad en las condiciones de trabajo como: rendimiento o eficacia visual, comodidad y agradabilidad visuales, eficacia en energía y costo (Philips, 1983, p. 45).

Las mediciones de los niveles de iluminación, se realizan en concordancia con las técnicas y procedimientos establecidos en las normas nacionales vigentes y tomando como referencia las recomendaciones de muestreo de organismos como OIT (Organización

Internacional del Trabajo), INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) y CIE (Comisión internacional de Iluminación).

Las mediciones de niveles de iluminación se realizan en condiciones normales de operación en las áreas respectivas, con el propósito de evitar elementos que puedan desviar la objetividad del estudio o modificar las condiciones que cotidianamente hallan los trabajadores en sus puestos de trabajo (Falagán, 2008, p. 362).

En esta Empresa de Seguros se identificaron puestos de trabajo a ser estudiados, a continuación se describen los que considera esta investigación como objeto de estudio:

- Asistente de Marketing
- Jefe de CRM
- Jefe de marketing
- Ejecutivo de asistencias
- Ejecutiva de negocios cautivos
- Ejecutivo de soporte
- Ejecutiva de Marketing
- Gerencia Técnica
- Gerencia de RRHH
- Ejecutiva de soporte técnico
- Asistente de Presidencia
- Gerencia de Tecnología
- Auditoria
- Gerencia Administrativa
- Asistente Administrativa

- Recepción
- Jefe de Adquisiciones y Servicios Generales
- Ejecutivo de Adquisiciones y Servicios Generales
- Ejecutiva Tributaria
- Ejecutiva de Contabilidad
- Ejecutiva de Auditoria
- Ejecutiva técnica 1
- Ejecutiva Técnica 2
- Ejecutiva Técnica 3
- Ejecutiva de Reaseguros
- Ejecutivo de planificación
- Jefe de planificación
- Ejecutivo de servicio atención presencial 1
- Ejecutivo de servicio atención presencial 2

Para establecer condiciones de trabajo seguras, es necesario aplicar un método que garantice niveles de iluminación adecuados, que se estudian de forma independiente, para el efecto esta investigación aplica principios y teorías de: Higiene Industrial, Luminotecnia, Manuales de Alumbrado, por ello se describen los conceptos que se aplican en los análisis y cálculos posteriores.

1.2.1 Conceptos de Iluminación

1.2.1.1 Luminotécnica

La luminotécnica es la ciencia que estudia la luz y su comportamiento. Existe una teoría establecida de que todo cuerpo en estado incandescente produce radiaciones que se transportan sin que exista un agente transportador. Entre estas radiaciones se encuentran las lumínicas, debiendo anotarse que solamente son perceptibles por la vista, solo aquellas que están comprendidas dentro del denominado campo de la visibilidad como se muestran en la Tabla 1 (Vizcaíno, 1998, p. 5).

Tabla 1. Longitudes de onda de Radiaciones Visibles

Radiación Visible	Frecuencia (f)	Longitud de onda (λ)
Violeta	750-707 Thz	390-420 nm
Azul	707-611 Thz	420-490 nm
Verde	611-522 Thz	490-570 nm
Amarillo	522-513 Thz	570-590 nm
Naranja	513-464 Thz	590-650 nm
Rojo	464-385 Thz	650-760 nm

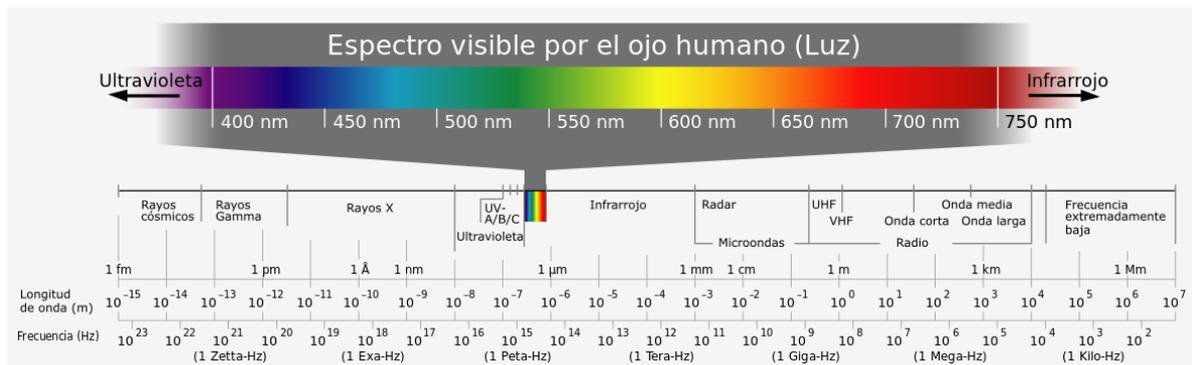
Fuente: (Gómez, 2006, p. 4)

1.2.1.2 La Luz

La luz es una radiación electromagnética capaz de ser detectada por el ojo humano. Es una energía radiante que interacciona con la materia, por ello la luz no se ve, se perciben los cuerpos iluminados, se propaga sin necesidad de un medio material, sino por medio de

energía radiante (perturbaciones periódicas del estado electromagnético). La luz está formada de ondas electromagnéticas que forman parte del espectro visible como se puede apreciar en la figura 3 (Weston, 2009, p. 5).

Figura 3. Espectro visible electromagnético.



Fuente: (Millán, 2012, p. 4)

1.2.1.3 Óptica

La óptica es una ciencia que estudia y mide únicamente la parte del espectro que puede ser percibido por el ojo humano, esto es entre 390 nm a 760 nm. Las magnitudes fotométricas son análogas a las radiométricas, pero están modificadas para la sensibilidad a la visión del ojo humano mediante los valores de la curva fotométrica $V(\lambda)$ definida por el CIE (Comité Internacional de Iluminación) (Gómez, 2006, p. 4).

1.2.1.4 Índice dimensional del local (RI)

Está en función de las medidas del ambiente, considera las medias de largo (l), ancho (a) y altura (h), su unidad de medida es el metro (m) (Falagán, 2008, p. 370) como se establece en la ecuación 1:

$$\text{Índice del Local (RI)} = \frac{\text{Largo} \times \text{ancho}}{\text{Altura útil} \times (\text{largo} + \text{ancho})} \quad [\text{Ec.1}]$$

1.2.1.5 Flujo luminoso Φ_v .

El flujo luminoso es la cantidad de energía lumínica radiada o emitida total en una unidad de tiempo de un segundo (1 s) por una fuente luminosa en todas las direcciones dentro del espectro visible, su unidad de medida es el lumen (lm) (Falagán, 2008, p. 367).

1.2.1.6 Nivel de iluminación o iluminancia E_v .

El nivel de iluminación es el similar fotométrico a la irradiación, y por tanto la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área, se expresa en lumen por metro cuadrado (Lm/m²) o Lux (lx), se calcula con la ecuación 2:

$$E_v = \Phi_v/S. \quad [\text{Ec.2}]$$

Donde:

S= superficie

El valor de la iluminancia también se puede obtener de las tablas del Decreto Ejecutivo 2393 y del Real Decreto 486.

1.2.1.7 Intensidad luminosa I_v .

La intensidad luminosa es el similar fotométrico de la intensidad radiante, y se define como la densidad de flujo luminoso (Lm) emitida por una fuente en una determinada dirección y por ángulo sólido. Su unidad es la candela (cd), siendo $1 \text{ cd} = 1 \text{ lumen/estereorradián}$ o (lm/sr) . La intensidad luminosa se obtiene con la aplicación de la ecuación 3:

$$I_v = \Phi_v / \omega \quad [\text{Ec.3}]$$

Donde:

$\Phi_v = \text{flujo luminoso}$

$\omega = \text{ángulo sólido}$

1.2.1.8 Rendimiento luminoso η .

El rendimiento luminoso se denomina como coeficiente de eficacia luminosa, es la relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica necesaria para producir la misma, se mide en lumen/vatio (lm/w) (Falagán, 2008, p. 368).

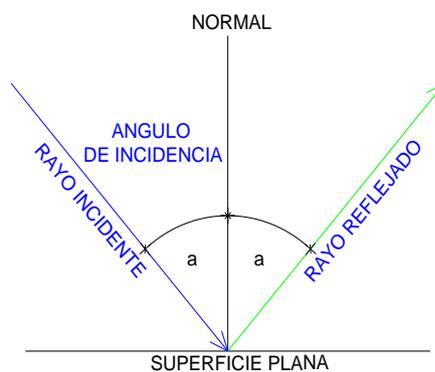
1.2.1.9 Incidencia de la luz sobre los cuerpos

Cuando un rayo de luz se propaga en un medio y llega al límite de un segundo medio, puede suceder que: retorne al primero, o que atraviese al segundo medio donde una parte se convierte en otra forma de energía y otra no cambia, por lo tanto cuando la luz incide sobre los cuerpos, ésta puede ser absorbida, reflejada o transmitida (Carril, et al., 1991, p. 1484).

1.2.1.10 Reflexión

La reflexión sucede cuando en una superficie plana, regular y lisa incide un rayo luminoso, el ángulo que forma este rayo con la superficie es denominado: ángulo de incidencia, en este caso es igual al ángulo que forma el rayo reflejado respecto de la vertical, este tipo de reflexión se denomina “especular o dirigida”, tal como se muestra en la figura 4 (García, 2002, p. 9).

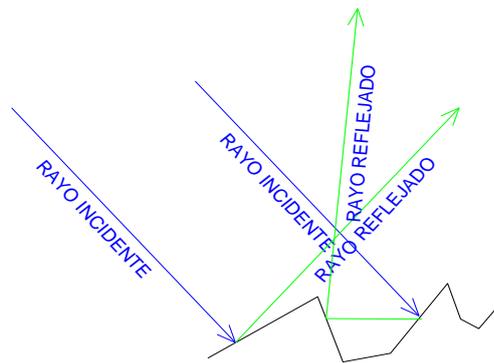
Figura 4. Reflexión especular o dirigida



Fuente: García, 2002, p. 9.

La reflexión “difusa” sucede cuando el rayo incidente puede reflejarse, más de una vez formando diferentes ángulos, la superficie está compuesta de partículas que actúan como un minúsculo reflector especular orientada en diferentes direcciones, puede darse el caso de que el rayo reflejado se cruce con otros como se muestra en la figura 5:

Figura 5. Reflexión irregular



Fuente: García, 2002, p. 9.

1.2.1.11 Reflectancia

Este fenómeno se produce cuando la luz es reflejada por una superficie, un porcentaje de ella es absorbido, entonces la relación entre la luz reflejada y la luz incidente se denomina como reflectancia de la superficie, se obtiene de la aplicación de la ecuación 4:

$$P = \frac{L_r}{L_i} (\%) \quad [\text{Ec.4}]$$

Donde:

P = reflectancia

L_r = Luz reflejada

L_i = Luz incidente

1.2.1.12 Refracción

La refracción tiene lugar cuando un rayo luminoso incidente pasa de un medio físico de una densidad a otro con densidad diferente, al atravesar el rayo no sigue la misma trayectoria sino que adopta una nueva dirección, esta variación se produce por una alteración en la velocidad de la luz (Carril, et al., 1991, p. 1487).

1.2.1.13 El Deslumbramiento

Es otra de las manifestaciones de la luz, cambios bruscos pueden ser peligrosos pues ciegan temporalmente a la persona mientras el ojo se adapta a las nuevas condiciones.

El deslumbramiento puede presentarse en tres formas: directo, indirecto y por contraste, en la figura 6 se muestra la incidencia directa del ángulo que forma la luminaria con la normal del ojo del observador, es recomendable que el ángulo no sea menor a 45° (Millán, 2012, p. 8).

Figura 6. Deslumbramiento



Fuente: Foster, 2001, p. 46.11.

- **Deslumbramiento directo**, se produce cuando los rayos de una determinada fuente luminosa impactan directamente en la retina del ojo, provocando fatiga visual, la reducción del grado de percepción de los objetos y cuando esta luz es muy intensa puede inducir a una ceguera temporal o permanente, es lo que ocurre por ejemplo cuando miramos directamente al sol o a una fuente luminosa de mucha intensidad ya sea natural o artificial (Gonsen, 1970, p. 20).

- **Deslumbramiento reflejado**, se realiza cuando en una superficie plana, lisa y brillantada incide un rayo luminoso y el rayo reflejado con una cierta intensidad provoca el malestar visual (Gonsen, 1970, p. 21).

- **Deslumbramiento por contraste**, se aprecia cuando en un fondo totalmente oscuro se observa una fuente luminosa. Esta forma de captar los rayos luminosos, produce también un gran desacomodo visual y la consiguiente dificultad de captar los objetos en forma normal, por ejemplo las luces de un vehículo durante el día no ocasiona mayor perturbación visual, mientras que en la noche habrá dificultad de recibirlos por la anulación visual (Vizcaíno, 1998, p. 53).

1.2.1.14 Efecto Estroboscópico

Este efecto puede notarse principalmente en máquinas giratorias, puede provocar fatiga ocular cuando las actividades que se realizan requieren de una atención sostenida, y puede resultar peligroso cuando hay partes rotativas de una máquina ya que pueden percibirse que giran a poca velocidad, están paradas o giran en sentido contrario (Weigel, 1989, p. 25).

1.2.1.15 Riesgos asociados

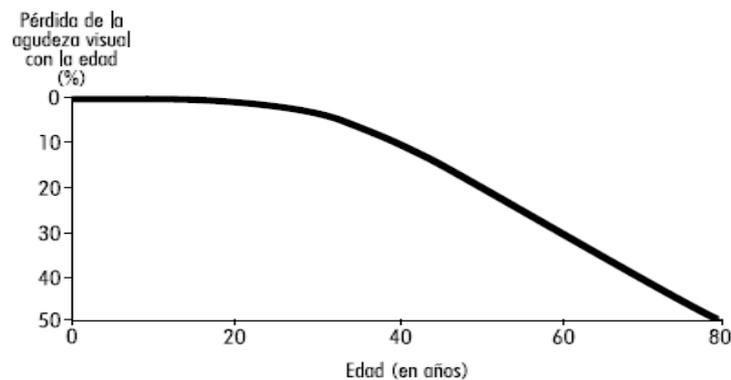
El desarrollo del trabajo con bajos niveles de iluminación puede provocar daños a la vista. El grado de seguridad con el que se ejecuta el trabajo depende de la capacidad visual y esta a su vez de: cantidad, calidad y estabilidad de la luz, debe conseguirse la ausencia de reflejos y de parpadeo (Gómez, 2006, p. 54).

Una iluminación inadecuada puede ser la causa de posturas inadecuadas desde el punto de vista ergonómico, provocando afecciones musculoesqueléticas. El nivel de iluminación debe adaptarse a la tarea a realizar en un puesto de trabajo y tendrá en cuenta la edad del trabajador así como las condiciones reales en que se debe realizar el trabajo (Carril, et al., 1991, p. 1481).

La luz como agente físico puede producir algunos riesgos como:

- Pérdida de la agudeza visual, es la capacidad de distinguir con precisión los detalles de los objetos, uno de los factores importantes es la edad del trabajador. En la figura 7 se muestra la curva de pérdida de la agudeza visual de acuerdo a la edad (Chavarría, 1988, p. 3).

Figura 7. Pérdida de la agudeza visual con la edad.



Fuente: Carril, et al., 1991, p. 1517.

- Fatiga ocular, generada por el incesante acomodamiento de la visión ante una deficiente iluminación provocada por el constante ir y venir de zonas sin iluminación uniforme.
- Deslumbramiento, debido a contrastes muy acusados en el campo visual o a brillos excesivos de la fuente luminosa, pueden dar lugar a dolores de cabeza, insatisfacción, alteración del ánimo.

Así mismo, habrá que considerar otros riesgos de menor importancia como consecuencia de los efectos caloríficos y radiantes derivados de estas fuentes energéticas. El peligro de daño a la retina es máximo en la zona de luz azul de 424-491 nm, por ello, la ACGIH da para ella un valor TLV, que por lo próximo de sus frecuencias, se presenta al mismo tiempo que el de los rayos infrarrojos (Falagán, 2008, p. 366).

Las fuentes más importantes pueden ser de origen natural como el sol (reflexión alta en extensas superficies nevadas, arenosas o el propio agua), y de origen artificial, como arcos eléctricos, lámparas incandescentes (tungsteno y halógenas), tubos fluorescentes (de alta y baja presión), tubos de neón, tubos flash, etc.” (Cortéz, 2002, p. 441).

En la tabla 2 se muestran las afecciones a la salud que podrían provocar las radiaciones clasificadas por longitud de onda:

Tabla 2. Afecciones a la Salud de las Radiaciones Lumínicas

ORGANO		UV-A	UV-B Y C	Visible (400-700)		IR
OJOS	Córnea		Queratitis, Conjuntivitis			
	Cristalino	Cataratas Fotoquímicas				Cataratas Térmicas 700-3000 nm
	Retina			Lesión Fotoquímica	Lesión Térmica	
PIEL		Eritemas, Efectos fotoquímicos				

Fuente: Falagán, 2008, p. 378.

1.2.1.16 Fisiología del ojo

El nivel de iluminación óptimo para una tarea determinada corresponde al que da como resultado mayor rendimiento con una mínima fatiga. El ojo humano es sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda entre 380 y los 780 nm. La visión tiene lugar cuando rayos parten del objeto iluminado, atraviesan la córnea y el cristalino donde se refractan, llegan a la retina, donde forman una imagen invertida que mediante el nervio óptico pasa al cerebro para su interpretación (Cortéz, 2002, p. 442):

La visión humana es el proceso por medio del cual la luz es transformada en impulsos nerviosos capaces de generar una sensación, se compone de:

- Una pared de protección ante radiaciones nocivas.

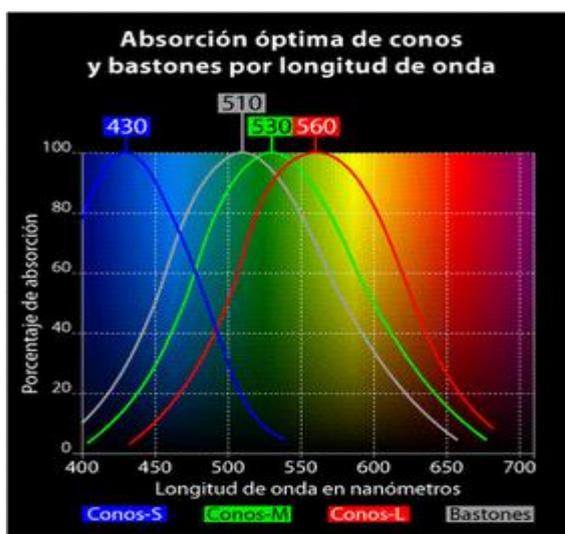
- Un sistema óptico cuya función es la de reproducir sobre la retina las imágenes exteriores, compuesta de: córnea, humor acuoso, cristalino, y humor vítreo.
- Un diafragma que controla la cantidad de luz que ingresa.
- Una película sensible a la luz, la retina sobre la que se proyecta la imagen exterior. En la retina se encuentran dos tipos de elementos: los conos y los bastoncitos.

La retina es el verdadero órgano sensible a la luz es una capa transparente de 0.2 a 0.4 mm de espesor, de tejido nervioso, absorbe la excitación óptica de las imágenes del exterior transmitiéndole a la región occipital del cerebro a través de nervios ópticos.

Los conos son sensibles al color, su nitidez de visión es elevada, por ello requieren iluminaciones elevadas, necesitan de un nivel de brillo de 1/100 asb aproximadamente para que exista sensibilidad al color, adicionalmente puede considerarse como límite umbral de actuación de los conos aquel que se da en el deslumbramiento (Weigel, 1989, p. 13).

Los bastoncitos son sensibles a la forma funcionan con bajos niveles de iluminación, como podemos apreciar en la figura 6 en la cual se muestran las longitudes de onda y la sensibilidad de los bastoncitos, para un ojo descansado a partir de 10^{-5} asb. entran en funcionamiento, es por esta razón que no podemos ver con nitidez ni fijar la vista. La nitidez de visión de los bastoncitos es reducida. En el intervalo de los 10^{-2} a 10^1 asb ambos aparatos de visión actúan simultáneamente, en la figura 8 se muestra el funcionamiento del ojo desde que la luz ingresa a la córnea hasta cuando el cerebro reinterpreta la imagen:

Figura 8. Absorción de conos y bastoncitos por longitud de onda



Fuente: Millán, 2012, p. 4.

1.2.1.17 Normativa y Legislación

En cumplimiento de la Legislación Ecuatoriana, la empresa ha emprendido en la búsqueda de profesionales especializados en temas de Seguridad y Salud Ocupacional, así como la aplicación de normas. Estas Normas para la Seguridad y Salud ocupacional de los trabajadores trazan estándares mínimos que obligatoriamente deben cumplirse, tales como:

El Decreto Ejecutivo Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y el mejoramiento del medio Ambiente de Trabajo No. 2393, que en su Art. 56. Iluminación, niveles mínimos, menciona textualmente: *“Todos los lugares de trabajo y tránsito deberán estar dotados de suficiente iluminación natural o artificial, para que el trabajador pueda efectuar sus labores con seguridad y sin daño para los ojos”*, así como los valores mínimos de iluminación como se puede apreciar en la tabla 3 para las exigencias de los lugares de

trabajo objeto de este estudio determina, 300 y 500 lux: (República del Ecuador, 1986, pág. 31).

Tabla 3. Niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares.

ILUMINACION MINIMA (luxes)	ACTIVIDADES
20	Pasillos, patios y lugares de paso.
50	Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos.
100	Cuando sea necesaria una ligera distinción de detalles como: fabricación de productos de hierro y acero, taller de textiles y de industria manufacturera, salas de máquinas y calderos, ascensores.
200	Si es esencial una distinción moderada de detalles, tales como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas.
300	Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, tales como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.
500	Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste difíciles, tales como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo.
1000	Trabajos en que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contratraste difíciles, tales como; trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería.

Fuente: República del Ecuador, 1986, pág. 31.

Adicionalmente el Decreto Ejecutivo 2393 menciona que se deben controlar: deslumbramientos, mantenimiento, limpieza, uniformidad en la iluminación, la relación entre los valores mínimos y máximos de iluminación general, medida en lux, no será inferior a 0,7 para asegurar la uniformidad de iluminación de los locales, para evitar deslumbramientos no se emplearán lámparas desnudas a menos de 5 metros del suelo, exceptuando aquellas que se les haya incorporado protección antideslumbrante (República del Ecuador, 1986, pág. 31).

De la misma manera se menciona a cerca del cuidado en las condiciones de iluminación en el REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE nº 97 23/04/1997.

Así mismo en el anexo VI se estipula que, la iluminación de cada zona o parte de un lugar de trabajo deberá adaptarse a las exigencias visuales de las tareas desarrolladas, siempre que sea posible, los lugares tendrán una iluminación natural, que deberá complementarse con una iluminación artificial, adicionalmente establece en la tabla 4 los niveles mínimos de iluminación:

Tabla 4. Niveles mínimos de iluminación.

Zona o parte del lugar de trabajo (*)	Nivel mínimo de iluminación (lux)
Zonas donde se ejecutan tareas con:	
1.º Bajas exigencias visuales	100
2.º Exigencias visuales moderadas	200
3.º Exigencias visuales altas	500
4.º Exigencias visuales muy altas	1000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

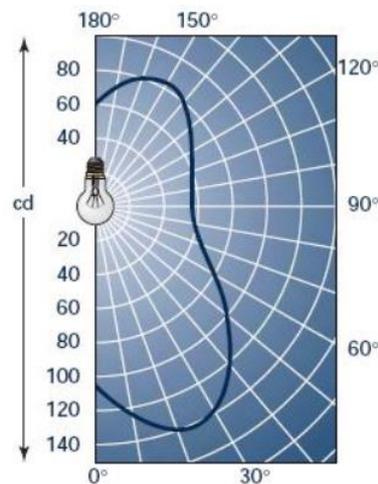
Fuente: Real Decreto 486, 1997, p. 1924.

El presente trabajo considera la clasificación entre iluminación natural y artificial, la primera genera menor fatiga visual al tratarse de una respuesta fisiología natural del organismo, en el segundo caso se subdivide en iluminación general y localizada, la iluminación natural presenta variabilidad en el transcurso del día, por ello la importancia de un adecuado sistema de iluminación segura y controlada.

1.2.1.18 Factores de Diseño y Distribución de la luz

Los artefactos lumínicos realizan una distribución de luz diferente de la que es efectuada por las lámparas en ellos contenidas. Por ello la importancia en la selección del artefacto, es necesario revisar la curva fotométrica, único criterio positivo para ese fin. El simple aspecto de la curva, independiente de cualquier consideración numérica nos da una idea de la distribución que el artefacto efectúa, como se muestra en la figura 9 (Román, 2000, p. 3).

Figura 9. Curva Fotométrica.

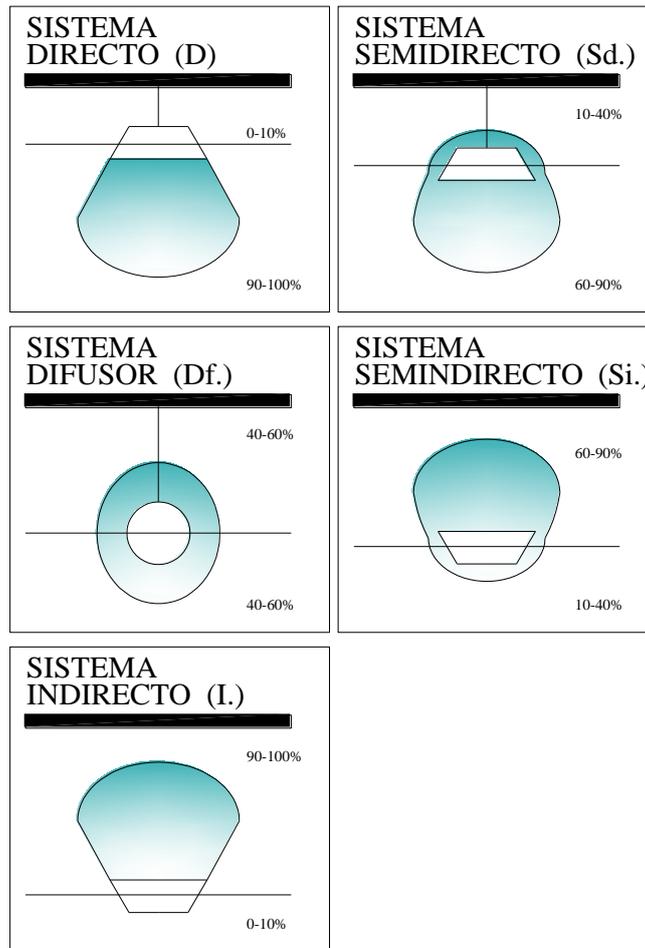


Fuente: Román, 2000, p. 5.

1.2.1.19 Sistemas de Distribución de la Luz

Una forma de determinar el tipo de luminaria más adecuada para un puesto de trabajo, es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima o por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara, se distinguen seis clases como se muestra en la figura 10:

Figura 10. Sistemas de distribución de la luz.



Fuente: Román, 2000, p. 3.

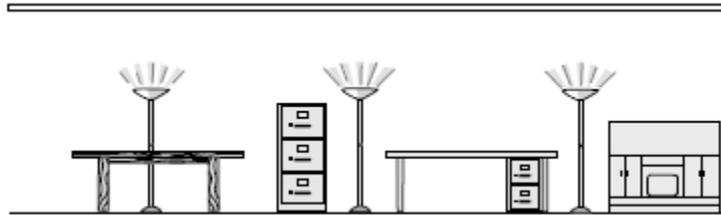
1.2.1.20 Tipos de iluminación

Al hacer el diseño lumínico de un ambiente de acuerdo con las necesidades, puede adoptarse uno de estos tres tipos de iluminación anteriormente descritos:

1. Tipo localizado: consiste en que por las características del local y esencialmente por las actividades que en este se desarrollan el existir sectores en los que deben dotarse de una mayor intensidad luminosa ya se trate por ejemplo de las funciones de lectura, escritura, diseño entre otros, las lámparas que se adopten deben responder a esta

condición, como se puede apreciar en la figura 11 la iluminación está dirigida a lugares puntuales.

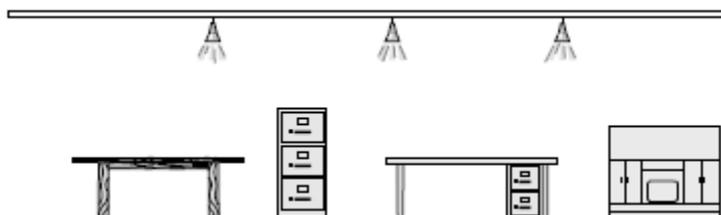
Figura 11. Iluminación localizada.



Fuente: Foster, 2001, p. 46.14.

2. Tipo general: En esta variante, en cambio lo que se trata es de acondicionar para toda el área del local una iluminación cuya intensidad sea la adecuada como se puede apreciar en la figura 12; pero que tenga como características fundamentales la difusión y uniformidad, todo lo cual se consigue seleccionando lámparas fluorescentes o focos incandescentes que dispongan de pantallas, receptáculos, paneles, radiantes o difusores que permitan distribuir el flujo luminoso.

Figura 12. Iluminación general.

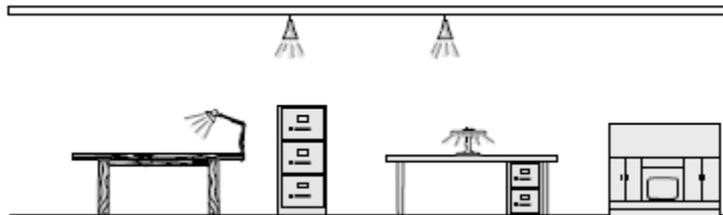


Fuente: Foster, 2001, p. 46.14.

3. Tipo combinado: corresponde al diseño de las características de que, en todo el ámbito del local se proporcione la más adecuada iluminación y además en determinados sectores en los que sea necesario ocultar o destacar determinados objetos, como se

muestra en la figura 13, se da la participación de luz localizada (Vizcaíno y Sánchez, 2001, p. 61).

Figura 13. Iluminación general.



Fuente: Foster, 2001, p. 46.14.

1.2.1.21 Tipos de Luminarias o Artefactos lumínicos

Una luminaria es un convertidor de energía, su principal propósito es transformar la energía eléctrica en radiación electromagnética visible. Existen más maneras de generar la luz.

a) Foco incandescente

Los materiales sólidos y líquidos, al calentarse a temperaturas superiores a 1.000 K, emiten radiación visible, es así que las lámparas de filamento se basan en este calentamiento para generar luz (Foster, 2001, p. 46.2).

Al interior de un foco incandescente su elemento principal es un filamento de Wolframio o Tungsteno, en forma de espiral que se torna incandescente al paso de una corriente eléctrica entre 2.500 y 2.700 K que es cercana al límite de fusión del Tungsteno,

produce radiación luminosa por efecto de la alta temperatura que se genera en este elemento, además una gran parte de la radiación desprendida se emite en forma de calor en la región de los infrarrojos, la lámpara no se combustiona debido a que se encuentra al interior de una cápsula o globo de distintas formas que evita la presencia de oxígeno, por vacío o por la presencia de gases raros como argón, criptón, Xenón, el grado de eficiencia de una luminaria de 100 w es de 14 lúmenes/vatio (Foster, 2001, p. 46.2).

b) Tubo Fluorescente

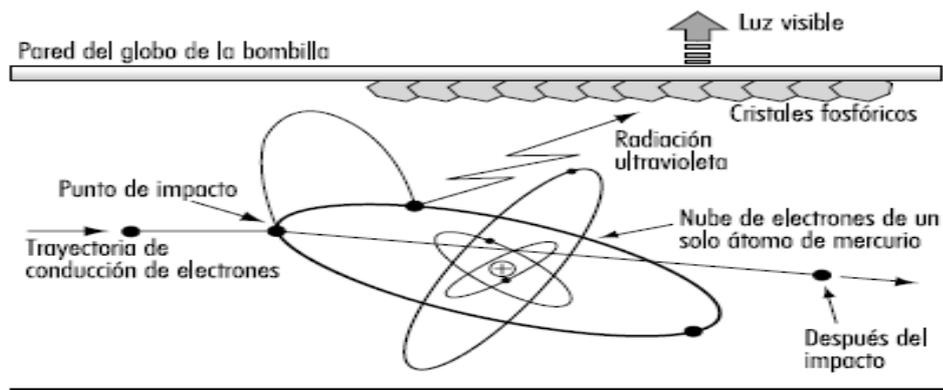
Son lámparas de mercurio de baja presión, la variedad usada en fábricas y oficinas es la de “cátodo caliente” (precalentamiento de los electrodos para la ionización del gas y del vapor de mercurio) la longitud de onda emitida está entre los 430 a 610 nm (Prakel, 2014, p. 76).

Estas lámparas están constituidas por un tubo de vidrio hermético que en sus extremos tiene casquillos metálicos con dos contactos, y en cada extremo están instalados filamentos de wolframio, este filamento recibe la carga positiva y adherido a este se encuentra el cátodo que recepta la carga negativa. Se aplica una carga eléctrica a través del tubo que provoca que el mercurio emita una intensa radiación ultravioleta a 254 nm, esto provoca la producción de radiaciones de corta longitud de onda (Prakel, 2014, p. 76).

El tubo de vidrio en su interior tiene un revestimiento fosfórico que absorbe los rayos ultravioletas como se puede ver en la figura 14 y posteriormente originan el fenómeno llamado fosforescencia (las radiaciones incrementan su longitud de onda se hacen visibles que

pasa al exterior del tubo) el color de la luz depende de las mezclas de diferentes productos químicos (Prakel, 2014, p. 77).

Figura 14. Principio de la lámpara fluorescente



Fuente: Foster, 2001, p. 46.5.

El grado de eficiencia de un fluorescente es mayor al incandescente siendo de 36 W genera 96 lúmenes/vatio.

c) Lámpara Halógena de Tungsteno de baja presión

Son similares a las incandescentes, producen luz a partir de un filamento de tungsteno, el globo contiene gas de bromo o yodo, la bombilla debe mantenerse a una temperatura de 250 grados centígrados para que el haluro de tungsteno permanezca gaseoso.

El filamento es más robusto, vienen incorporadas de un transformador reductor, producen un exceso de calor que deteriora la transparencia, la radiación infrarroja en forma de calor es desprendida por la parte trasera del artefacto (Foster, 2001, p. 46-5).

d) Lámpara Led

Son diodos luminiscentes (Light-Emitting Diode), el primer LED comercial apareció en 1962, solo emitía luz roja se usó únicamente para señalización de dispositivos electrónicos.

Las luminarias Led tienen una eficiencia ligeramente por debajo de las lámparas de vapor de sodio de alta presión o de las de halogenuros metálicos, siendo comparable el flujo luminoso emitido, sin embargo los lúmenes emitidos llegan a la superficie de trabajo en un mayor porcentaje, la luz emitida/luz recibida es cercana a la unidad (Herranz, 2014, p. 39).

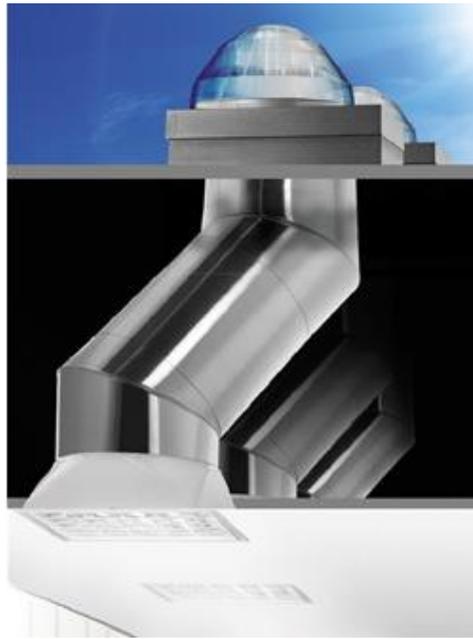
La luz Led es de color blancoazulada, emite un máximo valor pico de longitudes de onda entre los 460-470 nm correspondiente al color azul.

1.2.1.22 Artefactos de Iluminación Natural

a) Tubos solares de luz

El tubo solar de luz es un componente que ayuda a mejorar la iluminación natural a través de instalaciones conductoras de luz, no requieren mayor mantenimiento, pueden ser utilizados en ambientes sin ventanas con iluminación combinada. Están conformados por: una claraboya, celosía, conductor reflectante y difusor, pudiendo alcanzar longitudes de 10 m de conducto, como se muestra en la figura 15 (Rillie, 2015, p. 16).

Figura 15. Tubo solar de Luz.



Fuente: Rillie, 2015, p. 16.

b) Conducto de luz por fibra óptica

Está constituido por unos paneles situados en el área exterior, con una trama de lentes que captan los rayos del sol, cada lente tiene un capilar de fibra óptica que recoge la luz como un tubo de luz, docenas de estos capilares flexibles transportan la luz hasta 15 m de longitud, y son emitidas por un accesorio llamado luminaria (Rillie, 2015, p. 18).

c) Reflectores

Está constituido por espejos que se mueven durante el día captando la luz del sol y reflejándola en un punto fijo, en la figura 16 se pueden apreciar reflectores ubicados en la

cubierta de una edificación, con diferentes ángulos lo que les permite captar de una manera eficiente en diferentes ángulos durante el día (Rillie, 2015, p. 19).

Figura 16. Reflectores de Luz solar.



Fuente: Rillie, 2015, p. 19.

1.2.1.23 Teoría del Diseño

Las radiaciones ópticas son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda está entre los 100 nm y 1 nm, se clasifican en:

- Ultravioleta (UV): de 100 a 400 nm
- Visible o luz (VIS): de 400 a 750 nm
- Infrarroja (RI): de 750 a 1 nm

Para la evaluación del riesgo a radiaciones ópticas podemos analizar dos factores: las características de la fuente y las condiciones del puesto de trabajo.

Respecto de las características de la fuente se analiza: la potencia radiante en W, y la energía en J. Respecto de las condiciones del puesto de trabajo se revisara la distancia operador-fuente, ángulo subtenido (Falagán, 2008, p. 377).

Los requisitos de un Sistema de Iluminación adecuado para la seguridad y Salud del trabajador son los siguientes:

- I. Iluminación Uniforme
- II. Niveles de Iluminación Óptimos.
- III. Ausencia de deslumbramientos.
- IV. Ausencia de luces intermitentes o efecto estroboscópico.
- V. Análisis punto por punto.
- VI. Comprobación de resultados.

I. Iluminación uniforme

a) Cálculo del número mínimo de puntos para las mediciones de iluminancia (NMP).

Para calcular el número mínimo aproximado de puntos de medición de iluminancia, se debe conocer inicialmente el índice del local, para lo cual aplicamos la ecuación 5 (Falagán, 2008, p.388.):

[Ec. 5]

$$RI = \frac{l \times a}{h \times (l + a)}$$

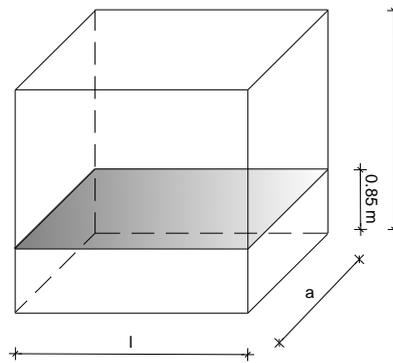
Donde:

l=es la longitud del local

a= es el ancho del local

h = es la distancia entre el plano de trabajo (0.85 m sobre el suelo) y las luminarias, por lo tanto $h = h' - 0,85$ m como se puede apreciar en la figura 17.

Figura 17. Índice del Local



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el índice del local (RI), aplicamos la ecuación del número mínimo de puntos (NMP):

$$NMP = (j + 2)^2 \quad [\text{Ec. 6}]$$

Donde:

J = es un valor entre 1 y 4 se toma de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5. Valores del factor j

Valor j	Rango
1	$0 < RI \leq 1$
2	$1 < RI \leq 2$
3	$2 < RI \leq 3$
4	$RI > 3$

Fuente: Falagán, 2008, p.388.

b) Determinación de la exposición máxima permisible.

Para el cálculo de la exposición a radiación óptica incoherente en un punto situado a una distancia conocida medida en metros, para una fuente con potencia radiante conocida, con fuentes con difusión esférica, para el efecto se aplica la ecuación 7:

$$EMP = \frac{P}{4\pi r^2} \quad [\text{Ec. 7}]$$

Donde:

p = potencia radiante de la fuente en W.

r = radio de la fuente= distancia a la fuente,

Su unidad de medida es W/m², (Falagán, 2008, p.390).

c) Cálculo de la distancia de seguridad en una radiación óptica (x).

La distancia de seguridad se obtiene con la ecuación 8 (Falagán, 2008, p.390):

$$x = \sqrt{P/EMP \times 4\pi} \quad [\text{Ec. 8}]$$

d) Cálculo del nivel de luminancia en la superficie de trabajo a partir del valor de iluminación y la reflectancia de paredes y techo

Para la presente investigación se adopta el Método CIE (Comisión Internacional del Alumbrado). Para realizar el cálculo primero se determina el sistema de iluminación más adecuado para cada ambiente de la tabla 6:

Tabla 6. Sistemas de Iluminación

Sistema de distribución	Abreviatura	Rendimiento luminoso
Sistema Directo	D	0,45
Sistema Semidirecto	Sd.	0,40
Sistema Difusor	Df.	0,35
Sistema Semindirecto	Si.	0,25
Sistema Indirecto	I	0,20

Fuente: Vásquez, 1993, p. 498.

Para el cálculo del factor Kr, está en función de las medidas del ambiente, se obtiene con la ecuación 9 (Vásquez, 1993, p. 511):

[Ec. 9]

$$Kr = \frac{0,2(l) + 0,8(a)}{h}$$

Donde:

l = largo del ambiente en metros.

a = ancho del ambiente en metros.

h = altura útil en metros.

El siguiente paso será la obtención del factor de utilización, que es la relación entre el flujo recibido en el plano de trabajo y el flujo emitido por la luminaria, la ecuación 10 (Román, 2008, p. 12):

[Ec. 10]

$$Ku = \frac{Fr}{\Phi_v}$$

Donde:

Φ_v = Flujo luminoso de la luminaria.

Fr= Flujo luminoso de recibido en el plano de trabajo.

Se puede obtener el valor del factor Kr considerando los siguientes factores de reflexión que se pueden apreciar en la tabla 7:

Tabla 7. Factor de Reflexión.

	Color	Factor de Reflexión.
Techo	blanco o muy claro	0,7
	muy claro	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
Suelo	claro	0,3
	Oscuro	0,1

Fuente: Vásquez, 1993, p. 516.

Para determinar el factor de mantenimiento o de conservación de la instalación, este coeficiente dependerá del grado de suciedad y de la frecuencia con la que se ejecuta el mantenimiento y limpieza de los artefactos, para lo cual se pone a consideración la tabla 8:

Tabla 8. Factor de mantenimiento.

Ambiente	Factor de Mantenimiento (fm)
Limpio	0,8
Sucio	0,6

Fuente: Vásquez, 1993, p. 517.

El flujo luminoso total será el requerido para cumplir las condiciones lumínicas del ambiente de acuerdo a la necesidad, para su obtención se aplica la ecuación 11 (Román, 2008, p. 13):

$$\phi T = \frac{E_v \times S}{K_u \times f_m} \quad [\text{Ec. 11}]$$

Donde:

E_v = Nivel de iluminación en lux.

S = superficie largo x ancho del ambiente en metros.

K_u = factor de utilización

f_m = factor de mantenimiento.

Para determinar el número de luminarias necesarias para un diseño eficiente se divide el flujo luminoso total para el flujo luminoso que emite la luminaria seleccionada, se aplica la ecuación 12 (Vázquez, 1993, p. 541):

$$N = \frac{\phi T}{n \times \phi L} \quad [\text{Ec. 12}]$$

Donde:

N = número de luminarias necesarias,

ϕT = flujo luminoso total

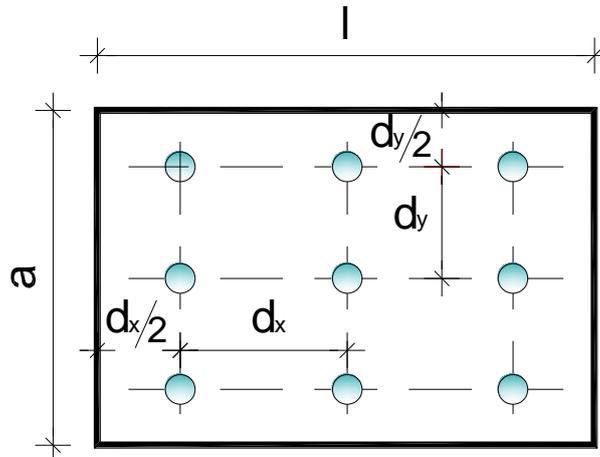
n = número de luminarias por cada artefacto lumínico (a veces están en pares o más)

ϕL = es el flujo luminoso de la luminaria seleccionada, este valor se puede obtener de las tablas de los fabricantes, su unidad es el lumen.

e) Diseño del emplazamiento de las luminarias en planta

Una vez obtenido el número de luminarias necesarias se deben distribuir adecuadamente en la planta del ambiente, para el efecto se consideran las dimensiones de largo y ancho, como se puede apreciar en la figura 18 las distancias de los extremos es recomendable sean a la mitad debido a que la curva fotométrica es simétrica:

Figura 18. Emplazamiento de luminarias.



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la distancia aproximada de la ubicación en ambos ejes, se aplica la ecuación 13 y 14 (CIE, 1992, p. 4):

$$N \text{ ancho} = \sqrt{\frac{N \text{ total}}{\text{largo}} \times \text{ancho}} \quad [\text{Ec. 13}]$$

$$N \text{ largo} = N \text{ ancho} \times \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}}\right) \quad [\text{Ec. 14}]$$

f) Cálculo de altura útil

Para determinar la altura de montaje de la luminaria, cuando está ubicada perpendicular al puesto de trabajo se aplica la “ley de la inversa del cuadrado de la distancia”, esta ley dice que el nivel de iluminación proporcionado por una fuente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, misma que se expresa con la ecuación 15 (Vásquez, 1993, p. 56.):

$$E = I/d^2 \quad [\text{Ec. 15}]$$

Donde:

I = intensidad de la fuente medida en candelas (cd.)

d = distancia de la fuente respecto al plano considerado, se mide en metros (m).

Como la intensidad luminosa se expresa en candelas, datos proporcionados por el fabricante, al dividírle por la distancia la unidad de medida será en lux. Para determinar la altura de montaje de la luminaria, cuando está ubicada formando un determinado ángulo con la superficie del puesto de trabajo se aplica la “ley del coseno”, en este caso se aplica la ecuación 16:

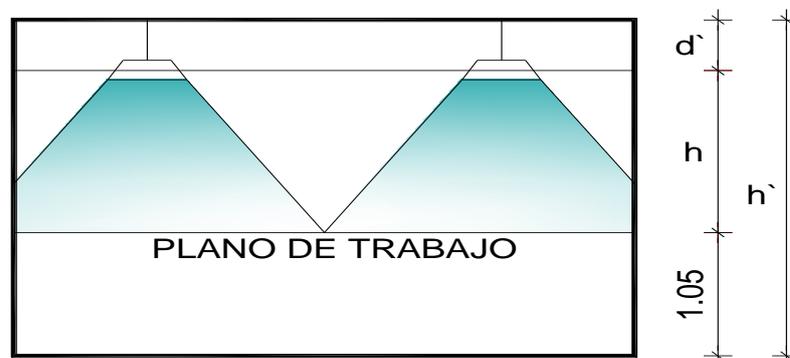
$$E = (I/d^2)\cos \theta \quad [\text{Ec. 16}]$$

Donde:

θ = es el ángulo formado entre el plano de trabajo con la perpendicular.

La altura útil, es la altura a la cual están suspendidas las luminarias, se considera desde el plano de trabajo hasta el plano de las luminarias como se puede apreciar en la figura 19 (Bean, 1982, p. 7):

Figura 19. Altura útil.



Fuente: Vásquez, 1993, p. 498.

Debido a que la exposición aguda a una luz con alta intensidad puede aumentar la temperatura del epitelio pigmentado de 10 a 20 grados centígrados, originando quemaduras de tipo térmico, en el caso de luminarias de alta intensidad sin protección se colocarán a una altura de 5 metros con respecto al suelo.

II. Niveles de Iluminación Óptimos

El nivel de iluminación óptimo será considerado de las tablas del Decreto Ejecutivo 2393, que para áreas de oficinas el requerimiento mínimo es 300 lux para trabajos de taquigrafía, contabilidad, y 500 lux para trabajos de dibujo y requerimientos de visualización de detalle.

III. Ausencia de deslumbramientos.

Para determinar la sensación de deslumbramiento y tomar medidas de control se utiliza el índice UGR, el cual la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) lo define con la ecuación 17 que se describe a continuación:

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0,25}{L_b} \Sigma \left(\frac{\omega L^2}{p^2} \right) \right] \quad [\text{Ec. 17}]$$

Donde:

L_b = luminancia de fondo en Cd/m^2 .

L = Luminancia en cada luminaria en la dirección de los ojos.

ω = Tamaño aparente de cada luminaria en estereorradianes.

P = Índice Guth de posición angular de cada luminancia (CIE 117).

Cuando mayor es el índice UGR mayor será la sensación de deslumbramiento (menor calidad). De acuerdo a la función se recomienda estos límites (García, 2002, p. 19):

- actividades de oficina UGR <19
- en control de procesos UGR <16
- en cuartos de máquinas UGR <25.

En el Decreto Ejecutivo 2393, se menciona adicionalmente que para los puestos de trabajo en los se requiera iluminación localizada, como un foco dirigido, se deberá evitar que el ángulo formado por el rayo luminoso que sale desde el artefacto con la horizontal del ojo del trabajador sea inferior a 30 grados. El valor ideal se fija en 45 grados (República del Ecuador, 1986, p. 33).

IV. Ausencia de luces intermitentes o efecto estroboscópico

Para evitar la aparición de luces intermitentes y efecto estroboscópico, los artefactos lumínicos deben tener un montaje compensado, (conexión de las luminarias a diferentes fases), los balastos deben ser electrónicos de alta frecuencia, las luminarias fluorescentes se deben colocar en pares, y se recomienda emplear en los lugares donde sea necesaria una iluminación localizada en base a lámparas incandescentes, led o halógenas (Sáenz, 1994, p. 19).

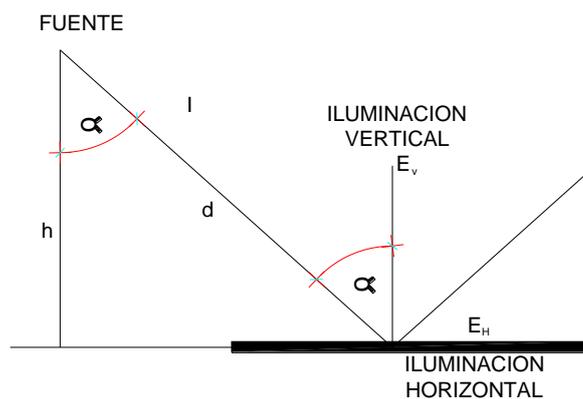
La alimentación de las lámparas fluorescentes deberá hacerse con corriente que tenga al menos cincuenta períodos por segundo (Sáenz, 1994, p. 19).

V. Análisis punto por punto

Para aplicar este método se debe conocer con exactitud la ubicación de las fuentes luminosas, nos permite conocer la iluminación en un punto específico de la superficie de trabajo, está en función de la altura de la lámpara y el ángulo que se forma, para estos casos se utilizan la ecuación 18 y la figura 20 que se muestran a continuación (Vásquez, 1993, p. 553):

$$EH = \frac{Iv \times \cos^3 \alpha}{h^2} \quad [\text{Ec. 18}]$$

Figura 20. Análisis punto por punto de luminarias.



Fuente: Vásquez, 1993, p. 555.

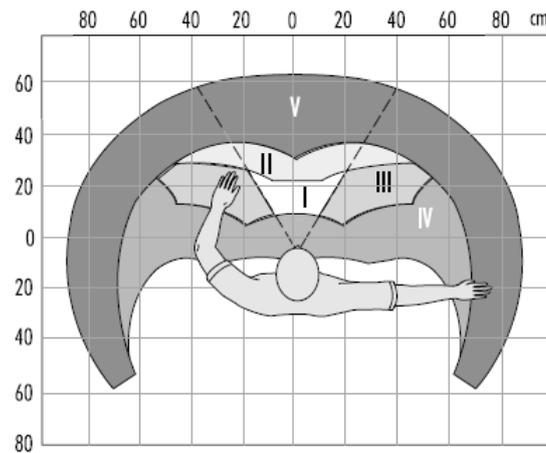
VI. Comprobación de los resultados

Para comprobar si el resultado del diseño cumple con la iluminación media requerida podemos aplicar la ecuación 19:

$$E_m = \frac{N \times \phi L \times K_u \times f_m}{S} \quad [\text{Ec. 19}]$$

Este resultado deberá ser mayor al nivel de iluminación recomendado en tablas, adicionalmente se considerará para la comprobación una medición en los lugares de mayor incidencia en el esfuerzo visual del trabajador, mismos que se muestran a continuación en la figura 21 y tabla 9:

Figura 21. Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo.



Fuente: Chiner, 2004, p. 19.

Tabla 9. Zonas visuales en el puesto de trabajo.

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

Fuente. Foster, 2001, p. 46.9.

1.2.2 Adopción de una Perspectiva Teórica

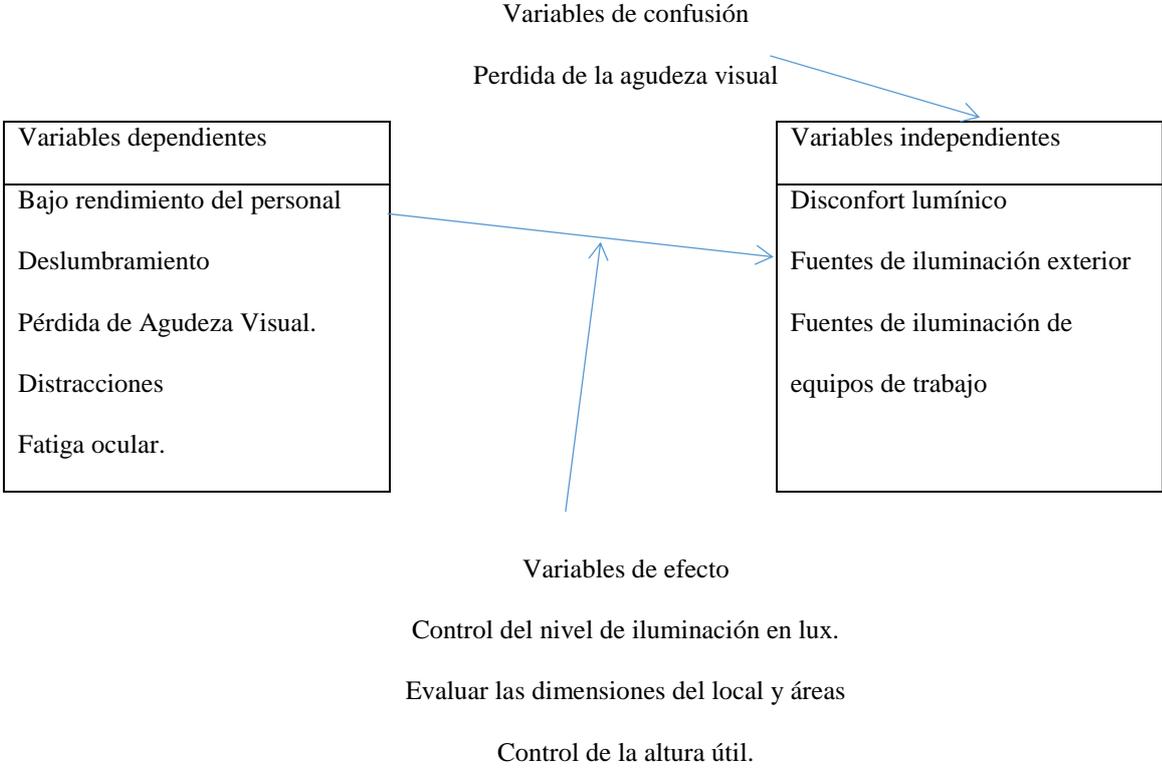
Para el efecto se realizará un procedimiento que considera: la tarea que realiza el trabajador, las dimensiones del lugar de trabajo, la altura útil medida desde el eje de la luminaria a la superficie del puesto de trabajo.

El nivel de iluminación se mide en Lux, con un instrumento de medición llamado Luxómetro, que convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, que posteriormente es amplificada y permite una lectura en una escala de lux calibrada. Las mediciones se harán con el personal, mobiliario y equipos en condiciones y posiciones habituales. La obtención de datos se realiza a la altura de la superficie de trabajo o en casos de zonas de uso general a 85 cm del suelo, en vías de circulación a nivel del suelo (Real Decreto 486, 1997, p. 1924.).

1.2.3 Hipótesis

Mediante la evaluación de la iluminación en una Empresa de Seguros, se logra proponer un diseño de un sistema de iluminación que permita mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores.

1.2.4 Identificación y Caracterización de Variables



CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1 Nivel de Estudio

Para el presente estudio se consideró el método de investigación descriptivo de varios aspectos de las condiciones actuales en las que se encuentran las oficinas de la empresa de seguros. Se encaminó el análisis a determinar el diseño de la iluminación artificial con sus componentes, por tal motivo el proyecto cuidó de proporcionar un alumbrado eficiente en cantidad y clase de luz, adicionalmente se hizo una evaluación de los costos a mediano plazo de los sistemas fluorescente y led para su implementación.

2.2 Modalidad de Investigación

Conforme a la normativa vigente promulgada mediante el Decreto Ejecutivo 2393, se determinó la utilización de los niveles de iluminación mínima para la realización del cálculo del sistema de iluminación, los valores se pueden apreciar en la tabla 3 del capítulo I.

2.3 Método

Se determinó el nivel de iluminación necesario para obtener una visión eficaz, segura y confortable, para el efecto se inició con la evaluación del cumplimiento de este parámetro que en 27 puestos de trabajo es 300 lux y en los 2 puestos restantes 500 lux.

Se consideró para la medición primero garantizar el nivel mínimo requerido de iluminación general, posteriormente se realizó el análisis punto por punto de la oficina en la cual existen dos estaciones de trabajo que actualmente poseen una sola luminaria centrada en el techo y que requieren una mayor exigencia visual por lo tanto mayor flujo luminoso.

Se efectuó la medición a las alturas que se indican en el Anexo IV del Real Decreto 486, esto es sobre la superficie donde se realiza la tarea, en virtud de que son estaciones de trabajo se realizó a 0.85 m del piso, y se obtuvieron los resultados que se pueden apreciar en la tabla No 12.

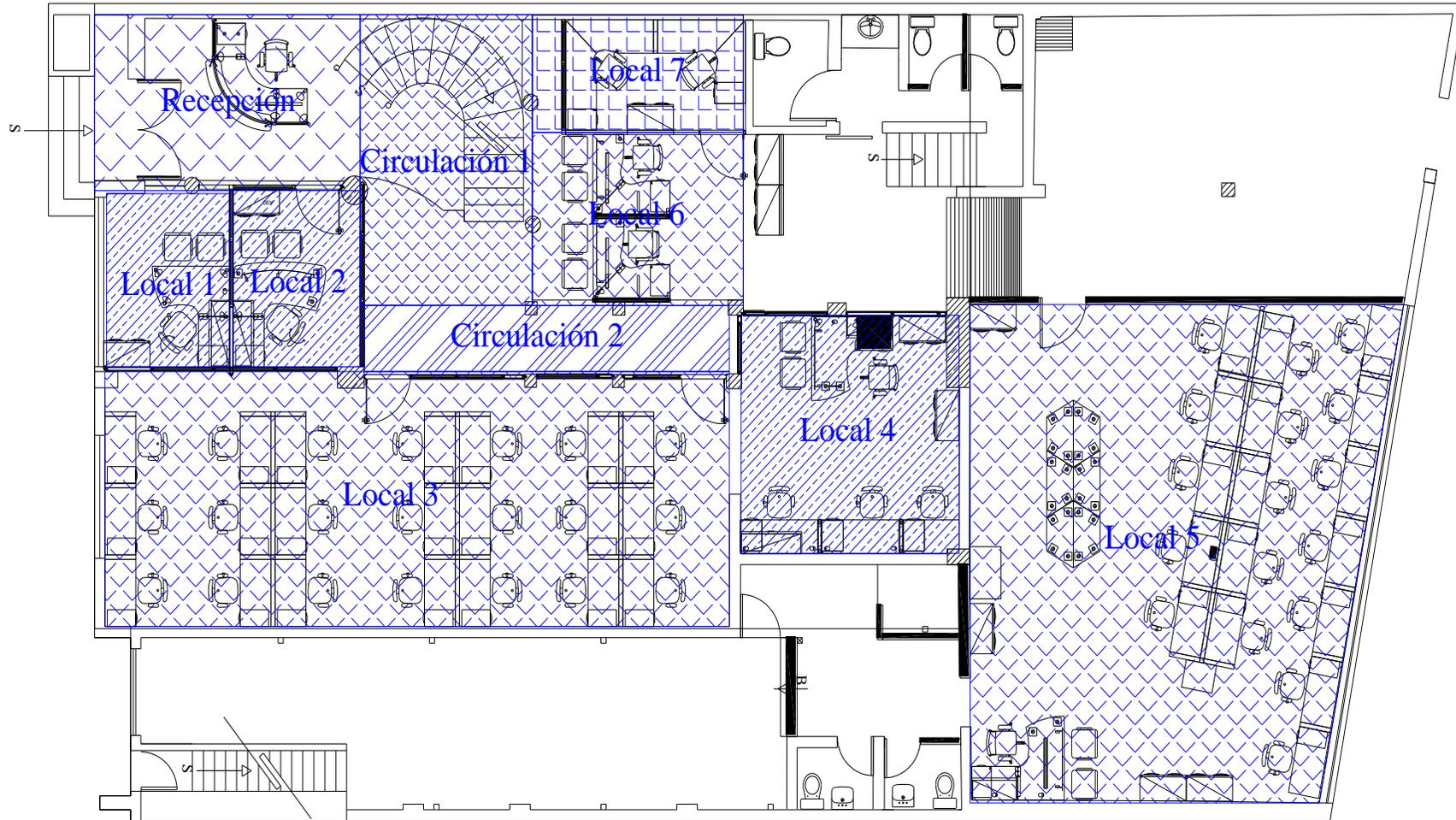
Se registró los valores con un luxómetro, manteniendo el fotodiodo sensor de luz en posición horizontal, evitando que la persona que toma la medida proyecte sombra sobre el sensor, y esperando un lapso de tiempo prudente hasta que el valor medido se estabilizó.

Se midió a las 8:30 am hora en la que el sol se encuentra a 45° aproximadamente y que es el horario de entrada de los funcionarios siendo la condición de iluminación más desfavorable en la mañana. Debido a que el edificio es adosado a ambos lados, únicamente posee ventanas en el frente y hacia la fachada posterior, por tanto las condiciones de iluminación natural no favorecen en gran medida el interior de las oficinas.

Se obtuvo las medidas y ubicación de las superficies de trabajo y dimensiones de las oficinas se con el relevamiento planimétrico de los locales de la planta baja como se aprecia en la tabla 11. Se consideró la ubicación de divisiones en panelería mixta de melamínico y vidrio en estructura de aluminio que poseen diferentes características reflectivas, las mismas que están instaladas de piso a techo.

Se calculó las superficies de los locales al subdividir en 7 áreas de intervención como se muestra en la figura 22:

Figura 22. División de locales en planta.



Fuente: Elaboración propia.

Se calculó con los datos de las dimensiones en planta el Índice dimensional del local (RI) aplicando la ecuación 5. Se obtuvo posteriormente el número mínimo de puntos de medición para cada uno de los locales, con lo que se garantiza evaluar la uniformidad en la iluminancia, en este caso a 300 y 500 lux.

Se determinó de la exposición máxima permisible para una luminaria tipo fluorescente 2x40W aplicando la ecuación No. 7. Se obtuvo la potencia radiante o potencia nominal mediante los datos del fabricante, en este caso es un tubo fluorescente recto de 40W, al estar ubicado en par se consideran 80W.

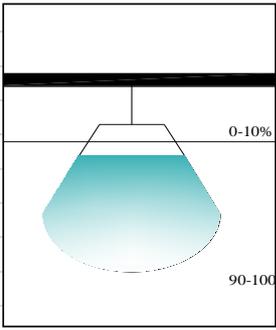
Se determinó utilizar el Sistema Directo de Distribución de la luz debido a que la altura del cielo raso y el entrepiso es de 0.20 m, espacio en el cual se albergan los artefactos empotrados siendo insuficiente para la ubicación de luminarias en sistemas Semindirecto e Indirecto.

Se calculó el nivel de luminancia en la superficie de trabajo a partir de los valores de reflectancia de paredes y techo, las paredes están conformadas por mampostería de bloque enlucido y pintura acrílica color blanco mate, amarillo, beige y el techo está conformado por cielo raso de fibra mineral suspendido en una malla de perfiles de aluminio el módulo de instalación es de 60x60 cm color beige, el mismo que facilita el reemplazo y/o reubicación de los artefactos si la necesidad de reemplazar su totalidad, este factor determinó la utilización de lámparas en módulos de 0.60 m o similar.

Se calculó el factor K_r que es el índice dimensional del local mediante la ecuación No. 9 que se aprecia en el capítulo 1, este valor fue redondeado con el propósito de identificar el

valor del factor de utilización Ku en tablas emitidas por los fabricantes como se puede apreciar en la tabla 10.

Tabla 10. Factor de utilización.

LUZ FLUORESCENTE	Rt %	70			50			30		
	Rp %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
SISTEMA DE DISTRIBUCION	Kr	FACTORES DE UTILIZACIÒN								
DIRECTO	1,00	0,26	0,21	0,17	0,26	0,21	0,17	0,25	0,2	0,17
	1,20	0,31	0,25	0,21	0,3	0,25	0,21	0,29	0,25	0,21
	1,50	0,36	0,3	0,27	0,35	0,3	0,27	0,34	0,3	0,27
	2,00	0,42	0,37	0,33	0,42	0,37	0,33	0,41	0,37	0,33
	2,50	0,47	0,42	0,39	0,46	0,42	0,38	0,45	0,41	0,38
	3,00	0,51	0,46	0,42	0,5	0,46	0,42	0,49	0,45	0,42
	4,00	0,56	0,52	0,49	0,55	0,52	0,49	0,55	0,52	0,49
	5,00	0,6	0,57	0,54	0,59	0,56	0,54	0,58	0,56	0,53
	6,00	0,62	0,59	0,57	0,61	0,59	0,56	0,61	0,58	0,56
	8,00	0,66	0,64	0,62	0,65	0,64	0,62	0,65	0,63	0,62
	10,00	0,68	0,67	0,65	0,68	0,66	0,65	0,67	0,66	0,65

Fuente: Elaboraciòn propia.

Se determinó el porcentaje de reflectancia en techo y paredes con la tabla 7 que se muestra en el capítulo 1. Adicionalmente se seleccionó en la tabla 8 el factor de mantenimiento considerando la periodicidad de la limpieza y reemplazo que reciben los artefactos.

Se seleccionó cinco tipos de luminarias de uso frecuente en las oficinas, se comparó las características de rendimiento luminoso, potencia nominal, flujo emitido, horas de vida útil, y características de operación para proponer según la necesidad de cada local. Así mismo se obtuvo los precios unitarios por provisión, valores de reemplazo, mantenimiento y consumo como factores importantes para la toma de decisión de la eficiencia de los artefactos lumínicos.

Se calculó el flujo luminoso total mínimo requerido en cada uno de los locales con la luminaria seleccionada y la altura de montaje definida con lo que se determinó el número de artefactos necesarios aplicando la ecuación 12 del capítulo 1.

Se conoció que la distribución actual de las luminarias ha producido la generación de sombras por lo que es indispensable la reubicación de los artefactos y el incremento de los mismos para el efecto mediante la ecuación 13 se calculó las distancias de emplazamiento en planta de los artefactos fluorescentes, led y halógenos.

Se realizó el diseño de los circuitos eléctricos, abastecidos por una caja térmica nueva debido a que el incremento de luminarias en una red existente implica mayor potencia instalada en el mismo conductor lo que provocaría calentamiento, fallos por caída de tensión y riesgo de incendios.

Se determinó la ausencia de deslumbramientos a través de la elaboración de un corte longitudinal donde se midió los ángulos del rayo incidente. Así mismo se aplicó la ecuación 17 de comprobación del sistema.

2.4 Población y muestra

Para el presente estudio se realizó el diseño de la totalidad de los ambientes de la planta baja de una de las dos sucursales de la empresa de seguros, en la cual laboran 29 personas que corresponden aproximadamente al 50% de la totalidad de los funcionarios de la empresa en la ciudad de Quito.

En los 29 puestos de trabajo que se analizaron, 27 de ellos corresponden a funciones administrativas que requieren condiciones de iluminación de 300 lux. Los restantes 2 puestos de trabajo corresponden a ejecutivos de soporte tecnológico que realizan tareas de mayor exigencia visual por tanto las necesidades de flujo luminoso se incrementan a 500 lux.

2.5 Selección de instrumentos de investigación

El equipo que se utilizó para medir los valores de niveles de iluminación en los ambientes, es un luxómetro BK PRECISIÓN 615, mismo que posee las siguientes características:

- Rangos de medida: 20 lux, 200 lux, 2.000 lux y 20 K lux.
- Resolución para cada rango: 0,01 lux
- Precisión: +-3% de lectura, +-10 dígitos para lecturas > 10.000 lux.

El luxómetro posee 4 rangos de medida, desde 0 hasta el valor máximo de cada uno de ellos, para el presente proyecto se utilizó el rango de 2.000 lux, el equipo posee un sensor captador de la luz en forma de una semiesfera de color blanco como se puede apreciar en la figura 23:

Figura 23. Luxómetro



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1 Presentación y análisis de resultados

La iluminación en puestos de trabajo debe proveer una visión eficiente energéticamente, segura y confortable. Por tanto, se analizó los diversos factores que intervienen en la visión, es decir: la tarea, el ambiente y la Iluminación.

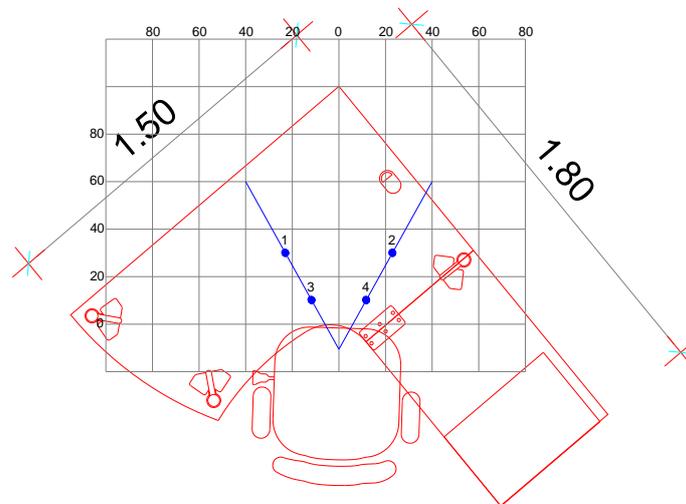
Se determinó de manera general que existe deficiencia en el flujo luminoso que reciben las superficies de trabajo, un 55% de los trabajadores no tienen las condiciones de seguridad adecuadas para ejecutar sus tareas.

Los materiales de paredes y techo presentan un alto nivel de reflectancia por ser de colores claros, sin embargo el poco mantenimiento y limpieza de las pantallas difusoras hace que el factor de mantenimiento sea bajo.

3.1.1 Identificación de las tareas en las que se produce fatiga ocular

Como primer paso se analizó los trabajos que requieren mayor precisión y exigencia visual en las tareas, la cantidad de trabajo, la movilidad del trabajador, el horario para determinar los niveles de iluminación medidos y requeridos, en los puestos de trabajo se consideró la ubicación para las mediciones que se muestra en la figura 24.

Figura 24. Ubicación de mediciones en puestos de trabajo.



Fuente: Foster, 2001, p. 46., Elaboración propia.

$$\text{NPM}=4,84 \text{ W/m}^2$$

Por otro lado se determinó los puestos de trabajo con mayor exigencia visual: el ejecutivo de soporte tecnológico y ejecutivo de soporte técnico, lugares en los cuales se ubicó en planta las luminarias para el análisis de los ángulos de incidencia.

3.1.2 Evaluación de las condiciones de iluminación en las áreas de trabajo.

En esta investigación se exponen los resultados de las mediciones de los niveles de iluminación mediante mapas de los planos de trabajo.

Se calculó el (RI) índice dimensional del local, y del (NMP) número mínimo de puntos de los cuales se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 11 para cada local. En el local 3 se utilizó los siguientes datos: altura del local= 2,25m, de donde, la altura útil será = altura del local -0,85 m.

Por lo tanto, altura útil= 1,40 m, largo= 3,10 m, ancho =2,38 m.

Reemplazamos en la ecuación No. 5

$$RI = \frac{l \times a}{h \times (l + a)}$$

$$RI = \frac{3,10 \times 2,38}{1,40 \times (3,10 + 2,38)}$$

$$RI = \frac{7,38}{7,67} = 0,96$$

Área 1: RI = 0,96

Mediante la Tabla No. 5 donde vemos que el valor RI = 0,96 está entre 0 y 1 seleccionamos el valor de j es 1. Reemplazando los valores en la ecuación 6 obtenemos que:

$$\text{NMP} = (j + 2)^2$$

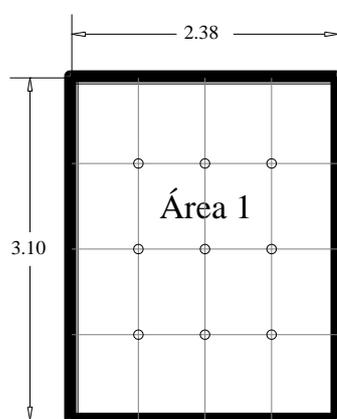
$$\text{NMP} = (1 + 2)^2$$

$$\text{NMP} = (3)^2$$

NMP = 9 Puntos.

De los cálculos se obtuvo un mínimo de 9 puntos para mediciones, emplazados en largo y ancho en segmentos producto de la división de la longitud total para el número de puntos requeridos, como se puede apreciar en la figura No. 25:

Figura 25. Número mínimo de puntos local 1



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 se pueden apreciar los resultados de los números mínimos de puntos de medición (NMP) para cada local. Así mismo se determinó que para evaluar la uniformidad de iluminancia es necesario dividir geoméricamente los locales puesto que la distribución de la luz de los artefactos existentes es simétrica en 2 sentidos.

Tabla 11. Número mínimo de puntos de medición por local.

LOCAL	DIMENSIONES				RI	NMP
	largo (m)	ancho (m)	altura útil (m)	superficie (m ²)		
1	3,1	2,38	1,4	7,38	0,96	9
2	3,15	2,47	1,4	7,78	0,99	9
3	12,14	4,56	1,4	55,36	2,37	25
4	4,26	4,24	1,4	18,06	1,52	16

5	8,92	7,61	1,4	67,88	2,93	25
6	4,1	3,09	1,4	12,67	1,26	16
7	4,1	2,1	1,4	8,61	0,99	9
recepción	5,17	3,15	3,0	16,29	0,65	9
circulación 1	5,2	3,35	3,85	17,42	0,53	9
circulación 2	7,1	1,18	2,3	26,16	0,44	9

Fuente: Elaboración propia.

De las mediciones realizadas con el instrumento de medida, un fluxómetro a una altura de 0,85 m, se obtuvieron los resultados que se describen en la tabla 12, de los cuales únicamente el 44,8% cumplen con el requisito de nivel mínimo de iluminación:

Tabla 12. Matriz de mediciones en los puestos de trabajo.

No	Puesto de trabajo	Nivel de iluminación medido (lux)	Nivel recomendado (lux)	Observación
1	Asistente de Marketing	370	300	cumple
2	Jefe de CRM	301	300	cumple
3	Jefe de marketing	255	300	no cumple
4	Ejecutivo de asistencias	110	300	no cumple
5	Ejecutiva de negocios cautivos	530	300	cumple
6	Ejecutivo de soporte tecnológico	306	500	no cumple
7	Ejecutiva de Marketing	127	300	no cumple
8	Gerencia Técnica	257	300	no cumple
9	Gerencia de RRHH	706	300	cumple
10	Ejecutiva de soporte técnico	355	500	no cumple
11	Asistente de Presidencia	276	300	no cumple
12	Gerencia de Tecnología	205	300	no cumple
13	Auditoría	440	300	cumple
14	Gerencia Administrativa	319	300	cumple
15	Asistente Administrativa	249	300	no cumple
16	Recepción	102	300	no cumple
17	Jefe de Adquisiciones y Servicios Generales	275	300	no cumple
18	Ejecutivo de Adquisiciones y Servicios Generales	326	300	cumple
19	Ejecutiva Tributaria	172	300	no cumple
20	Ejecutiva de Contabilidad	94	300	no cumple
21	Ejecutiva de Auditoría	232	300	no cumple
22	Ejecutiva técnica 1	235	300	no cumple
23	Ejecutiva Técnica 2	275	300	no cumple

No	Puesto de trabajo	Nivel de iluminación medido (lux)	Nivel recomendado (lux)	Observación
24	Ejecutiva Técnica 3	305	300	cumple
25	Ejecutiva de Reaseguros	376	300	cumple
26	Ejecutivo de planificación	372	300	cumple
27	Jefe de planificación	700	300	cumple
28	Ejecutivo de servicio atención presencial 1	308	300	cumple
29	Ejecutivo de servicio atención presencial 2	306	300	cumple

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de las mediciones realizadas han sido trasladados al mapa de iluminación, en donde se pueden distinguir las zonas más desfavorables.

Figura 26. Mapa de iluminancia actual.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 26, los valores de iluminancia no ofrecen uniformidad, producido por varios factores como: los puestos de trabajo cercanos a las ventanas tienen mayores niveles de iluminación, varios puestos de trabajo se encuentran alejados de los artefactos lumínicos, algunos balastos de luminarias están quemados, las pantallas difusoras están con polvo, la ubicación y cantidad de luminarias no ha sido cuantificada ni ubicada técnicamente.

3.1.3 Proposición de un diseño de un sistema de iluminación eficiente

Éste estudio propone la realización de un diseño de iluminación en cinco tipos de luminarias que se usan frecuentemente en este tipo de espacios: foco incandescente de 60W, tubo fluorescente tipo 2x40WT10/T12 120V de luz blanca, dicróico halógeno de baja presión de 50W, luminaria led tipo Syl-Lighter Led Eco de 12W y panel flat led 45W, en la figura 27 se aprecia su forma de presentación:

Figura 27. Luminarias propuestas en el proyecto.

LUMINARIA	ILUSTRACIÓN
Incandescente	

Dicroico halógeno	
Fluorescente 2x40W	
Led Panel Flat	
Led Panel Light redondo	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se puede apreciar que las luminarias fluorescentes y led son las que poseen una vida útil prolongada y alto rendimiento luminoso con una potencia nominal baja, es decir bajo consumo.

Tabla 13. Características de las luminarias.

TIPO DE LÁMPARA	POTENCIA NOMINAL (W)	RENDIMIENTO LUMINOSO (lm/W)	FLUJO LUMINOSO (lm)	TIEMPO DE VIDA ÚTIL (h)
Incandescente	60	10	515	2.000
Dicroico halógeno	50	20	1.950	3.000
Fluorescente 2x40W	80	70	5.000	10.000
Led Panel Flat	45	90	3.200	50.000
Led Panel light redondo	12	60	800	30.000

Fuente: Elaboración propia.

El análisis considera los costos de cada tipo de artefacto, en la tabla 14 se muestran los valores por provisión APU (análisis de precio unitario):

Tabla 14. Resumen Análisis de precios unitarios.

TIPO DE LÁMPARA	POTENCIA NOMINAL (W)	APU
Incandescente	60	\$ 23,29
Dicroico halógeno	50	\$ 39,66
Fluorescente 2x40W	80	\$ 42,46
Led Panel Flat	45	\$ 181,01
Led Panel Light redondo	12	\$ 42,97

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 15, 16, 17, 18 y 19 se aprecia el detalle de valores por mano de obra, herramienta, material y transporte de cada rubro analizado, donde los precios por mano de obra y herramienta son similares, sin embargo la luminaria led panel flat presenta un costo 80% más alto que los fluorescentes:

Tabla 15. Precio unitario luminaria incandescente.

Análisis de precios unitarios						
Rubro:		Luminaria incandescente 60W con plafón			Unidad:	U
Detalle:						
Equipos						
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Herramienta Menor	1	0,36	0,36	0,70	0,25	
Subtotal M					0,25	
Mano de obra						
Descripción (categoría)	Cantidad A	Jornal/hora B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Ayudante de Electricista-Estruc.Ocup. E2	1	2,56	3,18	0,75	2,39	
Electricista-Estruc.Ocup.D2	1	2,58	3,22	0,75	2,42	
Maestro de Obra Calificado-Estruc.Ocup. C1	0,1	2,71	3,57	0,75	2,68	
Subtotal N					7,48	
Materiales						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio unitario B	Costo C= A x B		
Plafón	U	1,00	11,98	11,98		
Foco incandescente 60W	U	1,00	1,46	1,46		
Subtotal O					13,44	
Transporte						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C= A x B		
Subtotal P						
Total costo directo (M+N+O+P)					21,17	
Indirectos y utilidades				10,00%	2,12	
Costo total del rubro					23,29	
Valor total					23,29	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Precio unitario luminaria halógena.

Análisis de precios unitarios						
Rubro:		Dicroico halógeno incluye ojo de buey			Unidad: U	
Detalle:						
Equipos						
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Herramienta Menor	1	0,20	0,20	0,74	0,147	
Subtotal M					0,15	
Mano de obra						
Descripción (categoría)	Cantidad A	Jornal/hora B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Peón-Estruc.Ocup. E2	1	2,13	3,18	1,24	3,92	
Electricista-Estruc.Ocup.D2	1	2,58	3,22	1,24	3,97	
Subtotal N					7,90	
Materiales						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio unitario B	Costo C= A x B		
Halógeno Dicroico para empotrar 50W	U	1,00	28,00	28,00		
Subtotal O					28,00	
Transporte						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C= A x B		
Subtotal p						
Total costo directo (M+N+O+P)					36,05	
Indirectos y utilidades				10,00%	3,61	
Costo total del rubro					39,66	
Valor total					39,66	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Precio unitario lámpara fluorescente.

Análisis de precios unitarios					
Rubro:		Lámpara fluorescente 2x40w con pantalla difusora			
Detalle:		Unidad:			U
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R
Herramienta Menor	1	0,20	0,20	1,00	0,20
Subtotal M					0,20
Mano de obra					
Descripción (categoría)	Cantidad A	Jornal/hora B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R
Ayudante de Electricista- Estruc.Ocup. E2	1	2,13	3,18	0,86	2,73
Electricista- Estruc.Ocup.D2	1	2,13	3,22	0,86	2,77
Maestro de Obra Calificado-Estruc.Ocup. C1	1	2,13	3,57	0,86	3,07
Subtotal N					8,57
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio unitario B	Costo C= A x B	
Lámpara fluorescente 2x40W	U	1,00	27,99	27,99	
Tubo fluorescente 40W	U	1,00	1,78	1,78	
Taype	rollo.	0,20	0,30	0,06	
Subtotal O					29,83
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C= A x B	
Subtotal P					
Total costo directo (M+N+O+P)				38,60	
Indirectos y utilidades				10,00%	3,86
Costo total del rubro				42,46	
Valor total				42,46	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Precio unitario panel led.

Análisis de precios unitarios						
Rubro:	Flat panel led				Unidad:	U
Detalle:						
Equipos						
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Herramienta Menor	1	0,36	0,36	0,70	0,25	
Subtotal M					0,25	
Mano de obra						
Descripción (categoría)	Cantidad A	Jornal/hora B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Ayudante de Electricista-Estruc.Ocup. E2	1	2,56	3,18	1,54	4,88	
Electricista-Estruc.Ocup.D2	1	2,58	3,22	1,54	4,94	
Maestro de Obra Calificado-Estruc.Ocup. C1	0,1	2,71	3,57	1,54	5,48	
Subtotal N					15,30	
Materiales						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio unitario B	Costo C= A x B		
Flat panel led	U	1,00	149,00	149,00		
Subtotal O					149,00	
Transporte						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C= A x B		
Subtotal P						
Total costo directo (M+N+O+P)					164,56	
Indirectos y utilidades				10,00%	16,46	
Costo total del rubro					181,01	
Valor total					181,01	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Precio unitario led tipo redondo.

Análisis de precios unitarios						
Rubro:		Led tipo panel light redondo			Unidad: U	
Detalle:						
Equipos						
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Herramienta Menor	1	0,36	0,36	0,70	0,25	
Subtotal M					0,25	
Mano de obra						
Descripción (categoría)	Cantidad A	Jornal/hora B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo D= C x R	
Ayudante de Electricista-Estruc.Ocup. E2	1	2,56	3,18	1,53	4,88	
Electricista-Estruc.Ocup.D2	1	2,58	3,22	1,53	4,94	
Maestro de Obra Calificado-Estruc.Ocup. C1	0,1	2,71	3,57	1,53	5,48	
Subtotal N					15,30	
Materiales						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio unitario B	Costo C= A x B		
Led panel light redondo 12W	U	1,00	23,51	23,51		
Subtotal O					23,51	
Transporte						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C= A x B		
Subtotal P						
Total costo directo (M+N+O+P)					39,06	
Indirectos y utilidades				10,00%	3,91	
Costo total del rubro					42,97	
Valor total					42,97	

Fuente: Elaboración propia.

Como se pueden apreciar en las tablas 17 y 18 los valores de provisión para luminarias led y fluorescente son los más altos, sin embargo el flujo luminoso de estos artefactos es

mayor, por tanto para el diseño se analizó la cantidad de luminarias a requerirse y los costos de mantenimiento previo a la selección del tipo de lámpara.

Se determinó el valor por consumo energético con un valor referencial de 0,087 Usd. cada KWh en la ciudad de Quito, y el costo del mantenimiento es decir el reemplazo de luminarias que cumplen su vida útil calculado en horas de funcionamiento para una jornada diaria de 9 horas, como se aprecia en la tabla 20:

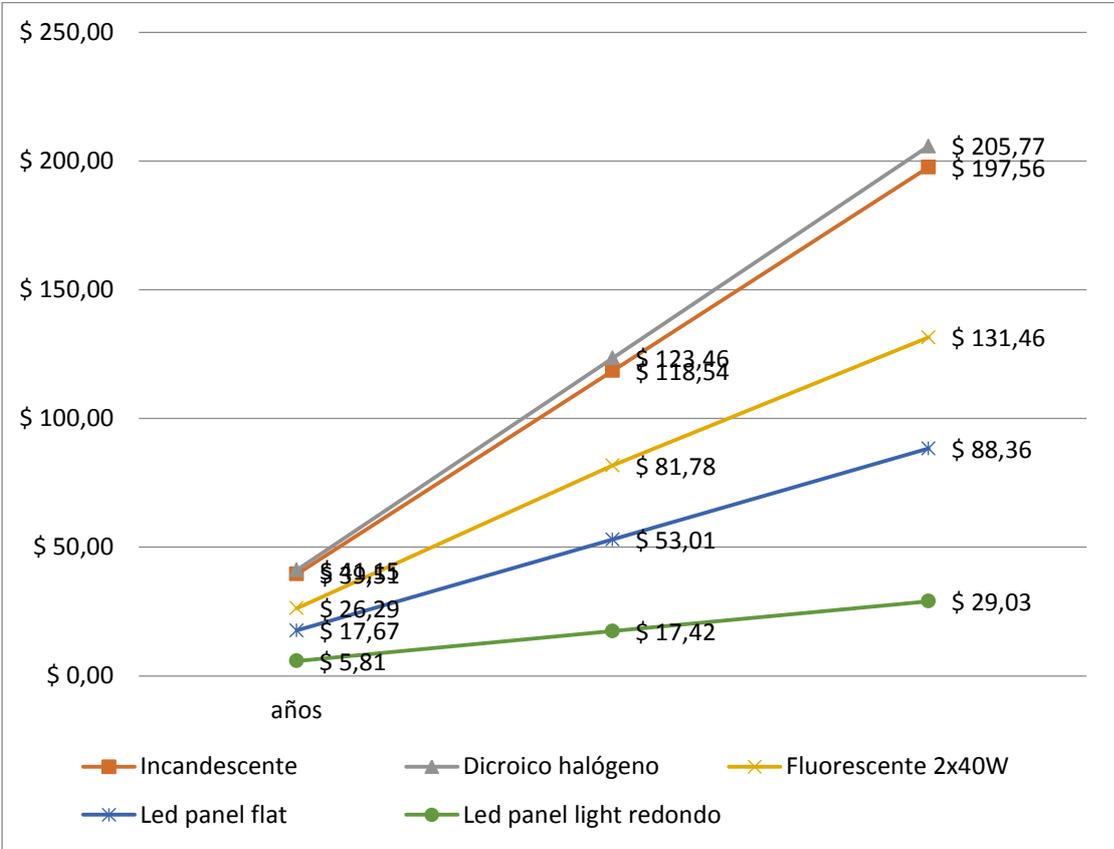
Tabla 20. Costos por consumo y mantenimiento.

Tipo de luminaria	Consumo energético	Consumo diario para 9 horas (KWh)	Costo diario (Usd.)	1 Año (260 días)			3 Años (780 días)			5 Años (1.300 días)			%
				Consumo	Mantenimiento	Sub-total	Consumo	Mantenimiento	Sub-total	CONSUMO	MANTENIMIENTO	TOTAL	
Incandescente	60 KWh/1000h	0,54	\$ 0,05	\$ 12,27	\$ 27,25	\$ 39,51	\$ 36,80	\$ 81,74	\$ 118,54	\$ 61,34	\$ 136,23	\$ 197,56	93,36%
Dicroico halógeno	50 KWh/1000h	0,45	\$ 0,04	\$ 10,22	\$ 30,93	\$ 41,15	\$ 30,67	\$ 92,80	\$ 123,46	\$ 51,11	\$ 160,50	\$ 211,61	100,00%
Fluorescente 2x40W	80 KWh/1000h	0,72	\$ 0,06	\$ 16,36	\$ 9,94	\$ 26,29	\$ 49,07	\$ 29,81	\$ 78,88	\$ 81,78	\$ 30,76	\$ 112,54	53,18%
Led Panel Flat	45 KWh/1000h	0,41	\$ 0,04	\$ 9,20	\$ 8,47	\$ 17,67	\$ 27,60	\$ 25,41	\$ 53,01	\$ 46,00	\$ 4,14	\$ 50,14	23,69%
Led Panel Light redondo	12 KWh/1000h	0,11	\$ 0,01	\$ 2,45	\$ 3,35	\$ 5,81	\$ 7,36	\$ 10,06	\$ 17,42	\$ 12,27	\$ 2,26	\$ 14,53	6,87%

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 28, en un período de 5 años la luminaria fluorescente posee un 46.8% de ahorro, el panel led un 76,3%, en comparación al halógeno dicroico, por esta razón es comparable el gasto de provisión, mantenimiento y consumo de los artefactos, sin embargo el flujo luminoso es y el rendimiento es mayor que el incandescente y el halógeno, por lo tanto se reduce considerablemente la cantidad de artefactos luminosos para cubrir el requerimiento.

Figura 28. Comparación de costo por consumo y mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos se determinó los tipos de luminaria de acuerdo a: la actividad del local, eficiencia, distribución de la luz, requerimiento estético, control de la luz emitida, como se puede apreciar en la tabla 21. Así mismo se definió el sistema de iluminación de acuerdo a condiciones estéticas y el nivel de iluminación en concordancia con el Decreto Ejecutivo 2393.

Tabla 21. Propuesta de tipos de luminaria.

Local	Actividad	Sistema de distribución	Nivel (lux)	Tipo de luminaria
1	trabajo en PVD	Directo	300	Led tipo panel light redondo
2	trabajo en PVD	Directo	300	Led tipo panel light redondo
3	trabajo en PVD	Difuso	300	Fluorescente 2x40W
4	trabajo en PVD	Difuso	300	Fluorescente 2x40W
5	trabajo en PVD	Difuso	300	Fluorescente 2x40W
6	atención al cliente	Difuso	300	Fluorescente 2x40W
7	reparación y mantenimiento CPU	Directo	500	Led Panel Flat 45W
recepción	atención al cliente	Directo	200	Halógeno dicroico 50W
circulación 1	tránsito de personas	Directo	20	Led tipo panel light redondo
circulación 2	tránsito de personas	Directo	20	Led tipo panel light redondo

Fuente: Elaboración propia.

Las luminarias led se ubicaron en espacios de tránsito y lugares donde es necesario que no existan parpadeos, estos artefactos tienen las siguientes características: no emiten radiación infrarroja ni ultravioleta, rendimiento luminoso elevado, bajo costo de mantenimiento, luz direccional permite un mayor aprovechamiento del flujo sobre la superficie de trabajo al iluminar únicamente solo el espacio deseado y flujo luminoso elevado.

Entre las características de las luminarias led que se analiza como desventajas que producen en comparación con los fluorescentes están: la longitud de onda es corta está entre los 460-470 nm color blancoazulada el tipo de luz que causa mayor contaminación lumínica, la inversión es recuperada en períodos mayores a los cinco años, por su propiedad de iluminación focal producen mayor posibilidad de deslumbramiento, los controladores electrónicos asociados a los diodos luminiscentes no tienen la misma vida útil por lo tanto pueden fallar en un tiempo menor, un aumento de potencia puede provocar la destrucción del

diodo, la lámpara está conformada por varios diodos que al fallar alguno emitirá iluminación sin uniformidad por lo tanto se deberá reemplazar la luminaria completa.

3.2 Diseño de un sistema de iluminación eficiente

Con los tipos de luminaria de la tabla 21, se calculó para cada local el flujo luminoso total, y el número de artefactos necesarios para la altura útil medida.

Se determinó que la luminaria fluorescente ofrece mayor eficiencia, como se puede apreciar en los cálculos y de la tabla 22, comparativa realizada para el local 3 con un requerimiento de 300 lux, para unas dimensiones del local de 12,14 m. de largo, 4,56 m. de ancho y una altura útil de 1,40 m. Los factores de reflexión que se utilizaron para los elementos son 0,3 en techo, en paredes 0,5 y en piso 0,1.

El factor de mantenimiento se determinó es 0,80 como se muestra en la tabla 8 ya que la frecuencia con la que se limpian las luminarias es mensual. Para el flujo luminoso total se aplicó la ecuación 11, considerando luminaria fluorescente, sistema difuso con un $K_u = 4$, el factor de utilización es $K_r = 0,37$

$$\Phi T = \frac{E_v \times S}{K_u \times f_m} \quad [\text{Ec. 11}]$$

Donde:

E_v = Nivel de iluminación en lux esto es 300 lux.

S = superficie largo x ancho del ambiente en metros, largo=12,14m, ancho= 4,56m,
superficie total=55,35 m².

K_u = factor de utilización=0,37

fm= factor de mantenimiento=0,80.

$$\phi T = \frac{300 \times (12,14 \times 4,56)}{0,37 \times 0,80}$$

$$\phi T = 56.108,11 \text{ Lúmenes}$$

De la misma manera se determinó los valores de flujo luminoso total de los tipos de luminaria propuestos y la cantidad de artefactos lumínicos aplicando la ecuación 12, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 22. Comparación de número de luminarias en el local 3.

Local	Dimensiones				Kr	Ku	Sistema de iluminación	Nivel (lux)	Flujo mínimo requerido (lm)	Tipo de luminaria	Flujo emitido luminaria	Numero de luminarias	Materiales y acabados		
	largo (m)	ancho (m)	altura útil (m)	superficie (m ²)									R. piso %	R. pared %	R. techo %
3	12,14	4,56	1,4	55,36	4	0,56	Directo	300	37.071,43	Incandescente 60 W	515	72	10	50	30
3	12,14	4,56	1,4	55,36	4	0,56	Directo	300	37.071,43	Dicroico halógeno 50 W	1950	19	10	50	30
3	12,14	4,56	1,4	55,36	4	0,37	Difuso	300	56.108,11	Fluorescente 2x40 W	5000	11	10	50	30
3	12,14	4,56	1,4	55,36	4	0,57	Difuso	300	36.421,05	Led panel flat 45 W	3200	11	10	50	30

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 22 se realizó un análisis comparativo entre el número de luminarias necesarias para asegurar un nivel de 300 lux en el local 3 entre: luminaria incandescente, halógeno dicróico, fluorescente y led panel flat, el rendimiento lumínico del fluorescente 2x40 W y led panel flat hace que sea necesario una menor cantidad de artefactos lumínicos en este caso 11, por tanto ofrecen mayor eficiencia, sin embargo existe la necesidad de ubicar luminarias halógenas por las características de confort y decorativas que poseen, su luz cálida resalta texturas y contrastes.

De acuerdo con los tipos de artefacto lumínico determinado para cada local se realizó el cálculo del número de luminarias necesario, considerando los materiales de acabado y por lo tanto los niveles de reflexión de paredes, techo y piso, como se aprecia en la tabla 23:

Tabla 23. Diseño del Sistema de iluminación.

LOCAL	DIMENSIONES				Kr	Ku	SISTEMA DE ILUMINACIÓN	NIVEL (lux)	FLUJO MÍNIMO REQUERIDO (lm)	TIPO DE LUMINARIA	FLUJO EMITIDO LUMINARIA	NO. DE LUMINARIAS	MATERIALES Y ACABADOS					
	largo (m)	ancho (m)	altura útil (m)	superficie (m²)									piso	R. piso %	pared	R. pared %	techo	R. techo %
1	3,1	2,38	1,4	7,38	2	0,37	Directo	300	7480	Led tipo panel light redondo	800	9	alfombra color gris	10	pintura color amarillo oscuro	30	fibra mineral color beige	30
2	3,15	2,47	1,4	7,78	2	0,41	Directo	300	7116	Led tipo panel light redondo	800	9	alfombra color gris	10	pintura color beige	50	fibra mineral color beige	30
3	12,14	4,56	1,4	55,36	4	0,33	Difuso	300	62909	Fluorescente 2x40W	5000	13	alfombra color gris	10	pintura color blanco	50	fibra mineral color beige	30
4	4,26	4,24	1,4	18,06	3	0,30	Difuso	300	22575	Fluorescente 2x40W	5000	5	alfombra color gris	10	pintura color blanco	50	fibra mineral color beige	30
5	8,92	7,61	1,4	67,88	6	0,37	Difuso	300	68797	Fluorescente 2x40W	5000	14	alfombra color gris	10	pintura color blanco	50	fibra mineral color beige	30
6	4,1	3,09	1,4	12,67	2	0,25	Difuso	300	19005	Fluorescente 2x40W	5000	4	piso flotante color haya	60	pintura color blanco	50	fibra mineral color beige	30
7	4,1	2,1	1,4	8,61	2	0,41	Directo	500	13125	Led Panel Flat 45W	3200	4	piso flotante color haya	60	panelería color almendra	45	fibra mineral color beige	30
recepción	5,17	3,15	3,0	16,29	1	0,18	Directo	200	22625	Halógeno microico 50W	1950	12	piso flotante color haya	60	pintura color azul oscuro	10	gypsum color blanco	50
circulación 1	5,2	3,35	3,85	17,42	1	0,26	Directo	20	1675	Led tipo panel light redondo	800	2	piso flotante color haya	60	panelería color almendra	45	fibra mineral color beige	30
circulación 2	7,1	1,18	2,3	26,16	1	0,27	Directo	20	2422	Led tipo panel light redondo	800	3	piso flotante color haya	50	panelería color	45	gypsum color blanco	70

Fuente: Elaboración propia.

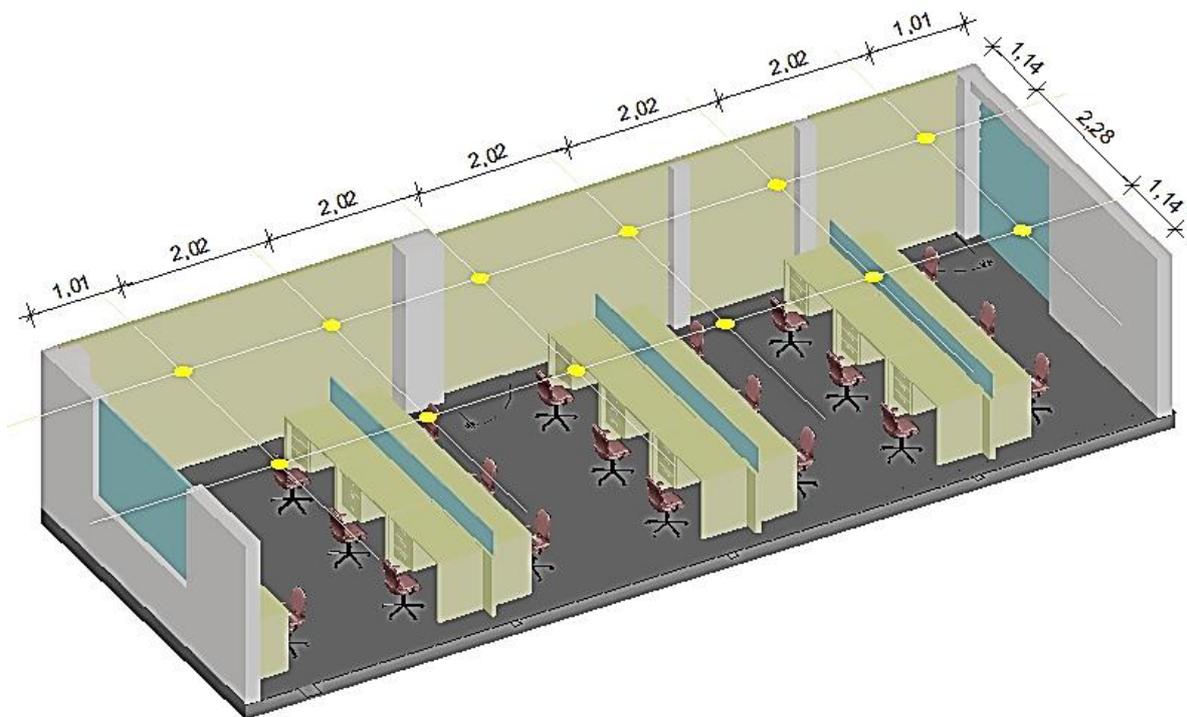
Para realizar el emplazamiento de las luminarias en planta, se aplicó la ecuación 13 y 14, se obtuvieron estos resultados con los cuales se distribuyó el local 3:

N ancho = 2 lámparas fluorescentes 2x40 W.

N largo = 6 lámparas fluorescentes 2x40 W.

El resultado de las ecuaciones muestra que en el local 3 se ubicaran en 2 filas 6 columnas de lámparas fluorescentes 2x40 W, a las distancias que se aprecian en la figura 29:

Figura 29. Emplazamiento de luminarias en el local 3.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 se pueden apreciar los resultados del cálculo de filas y columnas para la ubicación de luminarias en los locales. Como se puede ver el número de luminarias debe expresarse con un número entero para conseguir iluminación uniforme, en consecuencia el nivel de iluminación sobre la superficie de trabajo será ligeramente mayor a 300 lux.

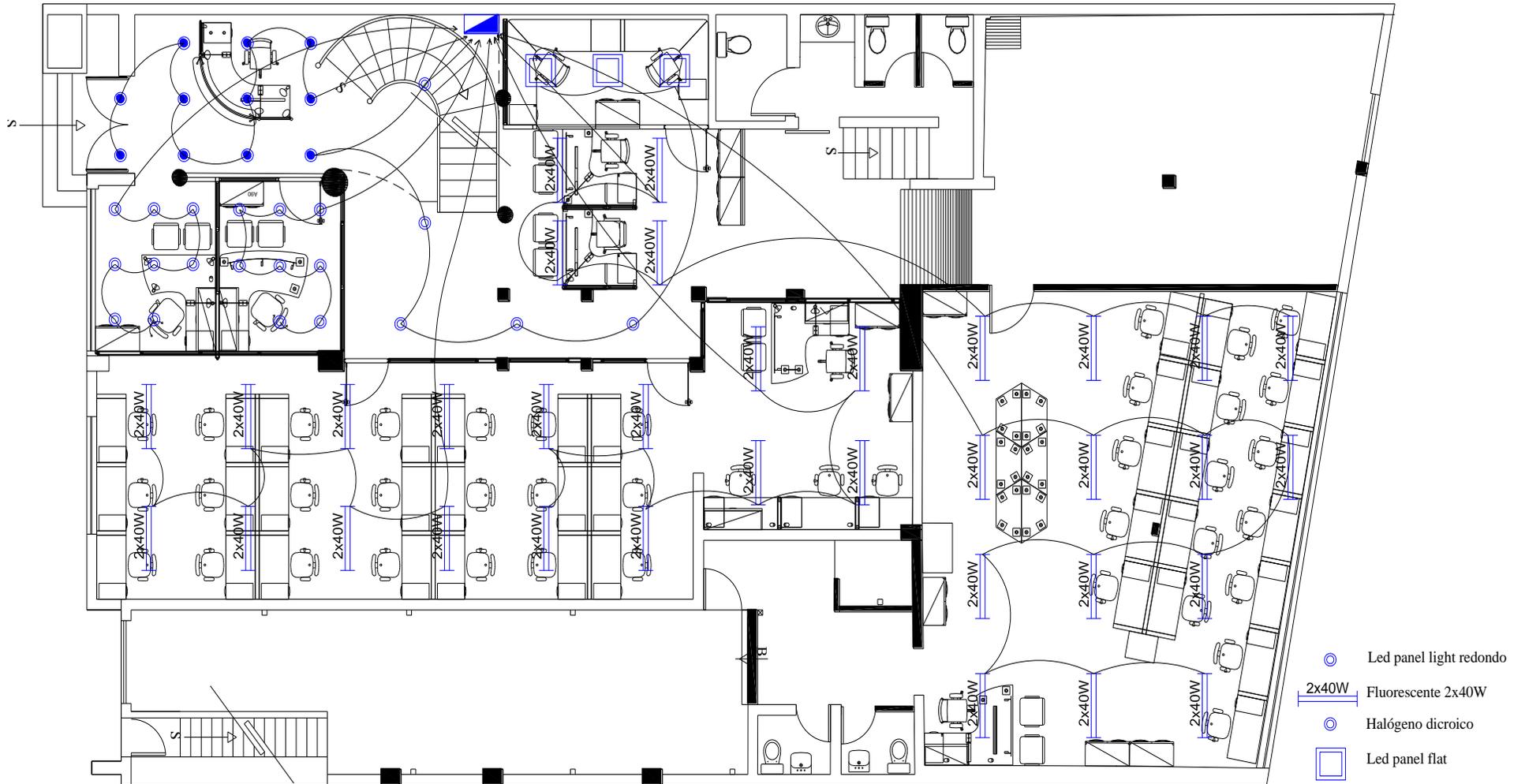
Tabla 24. Emplazamiento de luminarias.

Local	Dimensiones				Tipo	No. de luminarias	N ancho	N largo
	largo (m)	ancho (m)	altura útil (m)	superficie (m ²)				
1	3,1	2,38	1,4	7,38	Led tipo panel light redondo	9	3	3
2	3,15	2,47	1,4	7,78	Led tipo panel light redondo	9	3	3
3	12,14	4,56	1,4	55,36	Fluorescente 2x40 W	13	2	6
4	4,26	4,24	1,4	18,06	Fluorescente 2x40 W	5	2	2
5	8,92	7,61	1,4	67,88	Fluorescente 2x40 W	14	3	4
6	4,1	3,09	1,4	12,67	Fluorescente 2x40 W	4	2	2
7	4,1	2,1	1,4	8,61	Led Panel Flat 45 W	4	1	3
recepción	5,17	3,15	3,0	16,29	Halógeno dicroico 50 W	12	3	4
circulación 1	5,2	3,35	3,85	17,42	Led tipo panel light redondo	2	1	2
circulación 2	7,1	1,18	2,3	26,16	Led tipo panel light redondo	3	1	4

Fuente: Elaboración propia.

Con el emplazamiento de los artefactos lumínicos se obtuvo el plano de diseño total en 8 circuitos de iluminación de máximo 10 luminarias cada uno, para lo cual se necesita alimentación con un conductor # 14, con una caja térmica de 12 espacios, como se aprecia en la figura 30:

Figura 30. Plano eléctrico del diseño de iluminación.



Fuente: Elaboración propia.

Se estableció el presupuesto referencial con el cual se implanta el sistema de acuerdo al diseño realizado mismo que se puede ver en la tabla 25:

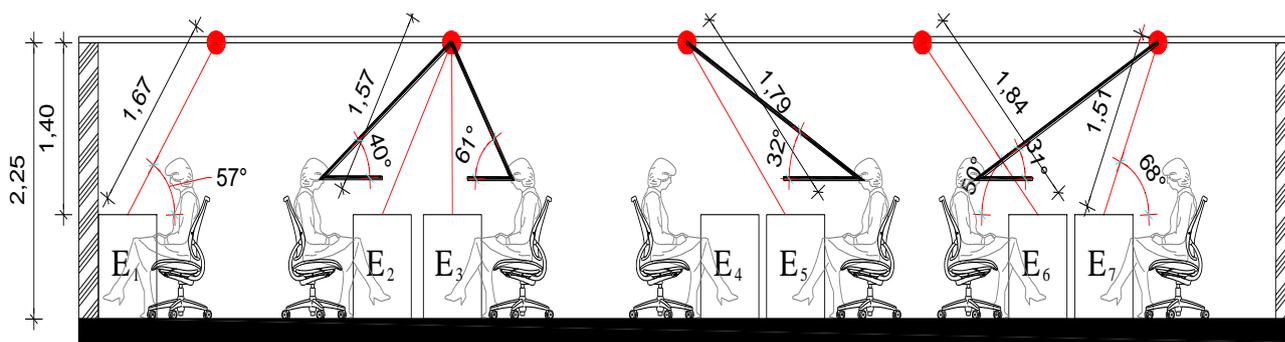
Tabla 25. Presupuesto del diseño.

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
	Instalaciones eléctricas				
1	Luminaria halógena dicroica 50 W	U	11,00	\$ 39,66	\$ 436,22
2	Luminaria fluorescente 2x40 W	U	34,00	\$ 42,46	\$ 1.443,75
3	Luminaria led panel flat 45 W	U	3,00	\$ 181,01	\$ 543,03
4	Luminaria led panel light redondo 12 W	U	21,00	\$ 42,97	\$ 902,40
Total					\$ 3.325,40

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se analizó el diseño para evitar la presencia de deslumbramientos, con la elaboración de un corte longitudinal, se midió y determinó que en el local 3 no existen artefactos lumínicos emitiendo rayos incidentes en un ángulo menor a 30° entre la luminaria y la horizontal del ojo del trabajador como se puede apreciar en la figura 31, por lo tanto no existe deslumbramiento.

Figura 31. Altura de montaje local 3



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la comprobación de resultados se calculó el nivel de iluminación medio requerido (E_v), se aplicó la ecuación 19 de la cual se obtuvieron los resultados que se aprecian en la tabla 26, se determinó que se cumplen los parámetros de luminancia.

Tabla 26. Comprobación de resultados.

LOCAL	Ku	Nivel (lux)	Flujo emitido luminaria	No. de luminarias	Ev
1	0,37	300	800	9	300
2	0,41	300	800	9	300
3	0,33	300	5000	13	300
4	0,30	300	5000	5	300
5	0,37	300	5000	14	300
6	0,25	300	5000	4	300
7	0,41	500	3200	4	500
recepción	0,18	200	1950	12	200
circulación 1	0,26	20	800	2	20
circulación 2	0,27	20	800	3	20

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

- Con la evaluación de los puestos de trabajo de la empresa de seguros se identificó los lugares con iluminación deficiente y mediante el diseño se logra subir los niveles de iluminancia de 94 a 300 lux.

- El sistema de distribución directo es más eficiente en fluorescentes desde el punto de vista económico porque reducen en un 33% la cantidad de lámparas en comparación al sistema difuso, lo que se traduce en menor costo por provisión de luminarias.
- Las luminarias led emplean una potencia nominal 43% más baja en relación al fluorescente, a lo largo de 5 años existe un 34% de ahorro en el costo de mantenimiento y consumo energético.
- Se identificó las tareas de los técnicos en sistemas como las de mayor esfuerzo visual, por las características de las luminarias led que no producen parpadeos ni radiación UV se logró mejorar las condiciones de los trabajadores.
- El rendimiento luminoso de las lámparas led panel flat está entre un 80 a 90 lm/W, para emitir un flujo luminoso de 3.200 lúmenes, sin embargo el fluorescente con un rendimiento de 70 a 80 lm/W emite 5.000 lúmenes, por tanto es mas eficaz.
- La luminaria tipo led posee alto nivel de focalización del flujo luminoso siendo este la relación entre el flujo recibido sobre el flujo emitido valor que está entre 0,9 y 1.
- Con la aplicación de cálculos luminotécnicos es posible la inclusión de lámparas decorativas como los halógenos dicroicos, sin embargo el flujo emitido es de 515 lúmenes, lo que significa que para reemplazar 11 fluorescentes de 2x40 W necesitamos 72 dicroicos de 50 W.

4.2 Recomendaciones.

- Implementar el diseño de iluminación, sin incrementar luminarias a los circuitos actuales.
- Realizar un mantenimiento y limpieza trimestral a las pantallas difusoras de los artefactos lumínicos.
- Evaluar las condiciones de iluminación de las áreas faltantes.
- Controlar las fuentes de iluminación externa en la recepción y en el local 3.
- Medir y evaluar los niveles de iluminación en las superficies de trabajo, una vez implementado el diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Bean, A. (1982), *CIE 052 Guía sobre iluminación interior*, 1ra. edición, Viena, Austria: Babenbergerstrasse.
- 2) Carril, et al., (1991), *Manual de Higiene Industrial*, 3ra. edición, Madrid, España: MAPFRE.
- 3) Chiner, M., (2004), *Laboratorio de ergonomía*, 1ra. edición, Valencia, España: Alfaomega.
- 4) Chavarría, R., (1988), *Iluminación de los centros de trabajo*, NTP 211, INSHT.
- 5) CIE, (1992), *Maintenance of indoor electric lighting systems*, Austria, CIE.
- 6) Cortéz, J., (2002), *Seguridad e Higiene del trabajo*, 3ra. edición, Madrid, España: Tébar.
- 7) Falagán, M., (2008), *Higiene industrial*, 1ra. edición, Madrid, España: Fundación Luis Fernández Velasco.
- 8) Foster, R., (2001), *Enciclopedia de seguridad y salud en el trabajo*, Madrid, España: INSHT.
- 9) García, M., (2002), *Iluminación en el puesto de trabajo criterios para su evaluación y acondicionamiento*, Madrid: INSHT.
- 10) Gómez, E., (2006), *Guía básica de conceptos de óptica geométrica*, 2da. edición, Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- 11) Gonsen, R., (1970), *Seguridad industrial*, primera edición, México: Herrero hermanos.
- 12) Herranz, C., (2014), *La iluminación Led*, 1ra. edición, España: Época II.
- 13) Millán, R., (2002), *Guía para la realización de medidas de niveles de iluminación*, 1ra. edición, Madrid, España: STAP.

- 14) Philips, (1983), *Manual de alumbrado*, cuarta edición, Gloeilampenfabriken, Holanda: Centro de Ingeniería y diseño Philips.
- 15) Prakel, D., (2014), *Iluminación*, 1ra. edición, Barcelona, España: BLUME.
- 16) Real Decreto 486, (1997), Anexo IV: Iluminación de los lugares de trabajo.
- 17) República del Ecuador, (1986). DECRETO EJECUTIVO 2393.
- 18) Rillie, D., (2005), *Sistema de iluminación natural Solatube*, 1ra. edición, Quito, Ecuador: Bio-in.
- 19) Román, W., (2000), *Instalaciones eléctricas y luminotécnica*, 1ra. edición, Quito, Ecuador: FAU.
- 20) Sáenz, G., (1994), *Evaluación y acondicionamiento de la iluminación en puestos de trabajo*, Madrid, España: INSHT.
- 21) Vázquez, J., (1993), *Luminotécnica*, 8va. edición, Barcelona, España: CEAC.
- 22) Vizcaíno, A., (1998), *Instalaciones eléctricas*, 4ta. edición, Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- 23) Weigel, R., (1989), *Luminotécnica sus principios y aplicaciones*, 2da. edición, Barcelona, España: Aguirre Gili.
- 24) Weston, C., (2009), *Iluminación*, 1ra. edición, Barcelona, España: BLUME.
- 25) International Commission on Illumination, (2000), recuperado de <http://www.cie.co.at/>, (Mayo, 2015).

ANEXOS

Anexo A. Luminaria incandescente 60 W.



Estándar Reforzadas

Reinforced Construction 60W E27 230V A60 CL 1CT

Lámpara de forma clásica reforzada para condiciones extremas.

Fuente: Catálogo Philips, 2015, p. 1.

Anexo B. Hoja técnica foco incandescente 60 W.

Estándar Reforzadas

Datos del producto

• Características Generales

Base/Casquillo	E27
Forma de la lámpara	A60 [A 60mm]
Acabado de la Lámpara	Clara
Forma del Filamento	Reinforced Construction [Reforzado]
Posición de Funcionamiento	any [Cualquiera o Universal (U)]
Nominal Lifetime	2000 hr
Vida útil nominal (h)	2000 hr
Vida útil nominal (años)	2 an

• Características de la Fuente de Luz

Índice Reproducción Cromática	100 Ra8
Temperatura de Color	2700 K
Flujo Luminoso Lámpara	515 Lm
Flujo luminoso nominal	515 Lm

Energy consumption kWh/1000h 60 kWh

• Condiciones de Medición

Ciclo de conmutación 8000X

• Características de Dimensiones

Longitud Total C 107.5 (max) mm
Diámetro D 60 (max) mm

• Datos Producto

Código de pedido 090331 05
Código de producto 871150009033105
Nombre de Producto Reinforced Construction 60W E27 230V A60 CL 1CT
Nombre de pedido del producto ReinfC 60W E27 230V A60 CL 1CT/20
Piezas por caja 1
Configuración de embalaje 20
Cajas por caja exte- 20

Fuente: Catálogo Philips, 2015, p. 2.

Anexo C. Hoja técnica balastro electrónico.



SYLVANIA

BALASTO ELECTRÓNICO 2X40W T10/T12 120V

Características

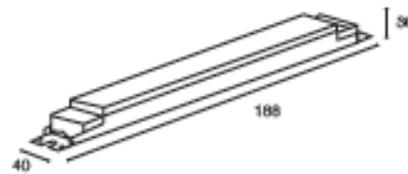
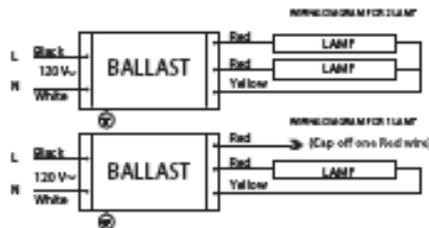
- Balasto electrónico de alta eficiencia.
- Para lámparas fluorescentes T12/T10 40 (W).
- Encendido instantáneo.
- Tensión Universal 120V.
- Temperatura mínima de operación -10 °C.
- Clasificación de Sonido: A.
- Sin PCB.

Especificaciones

Código	Tipo de lámpara	No. De lámpara	Potencia de línea (W)	Corriente de línea (A)	THD (%)	Factor de Potencia
P42660-19	40w T12	2	69	0,60	30	0,90
	40w T10	1	48	0,37	30	0,90

Diagrama

Dimensiones (mm)



Nota: Toda la información mostrada refiere a valores aproximados basados en condiciones de operación normales con equipo eléctrico auxiliar que cumple los valores de corriente especificados. Esta información está sujeta a cambio sin previo aviso.

Fuente: Catálogo Sylvania, 2015, p. 1.

Anexo D. Hoja técnica tubo fluorescente 40 W.

SYLVANIA



Lámparas

Fluorescentes Recto

T10 LUXLINE

Características

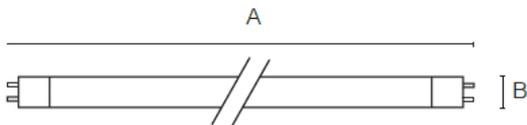
- 10.000 horas de vida útil.
- IRC 70%.
- Opera con balasto electrónica.

Aplicaciones

- Oficinas.
- Centros educativos.
- Hospitales.
- Industrias.
- Establecimientos comerciales.

Código	Potencia (W)	Bulbo	Flujo Luminoso (lm)	IRC	CCT (K)	Base	Vida Útil (h)
P57301-3	20	T10	1000	70	6500	G13	10000
P57303-3	40	T10	2500	70	6500	G13	10000

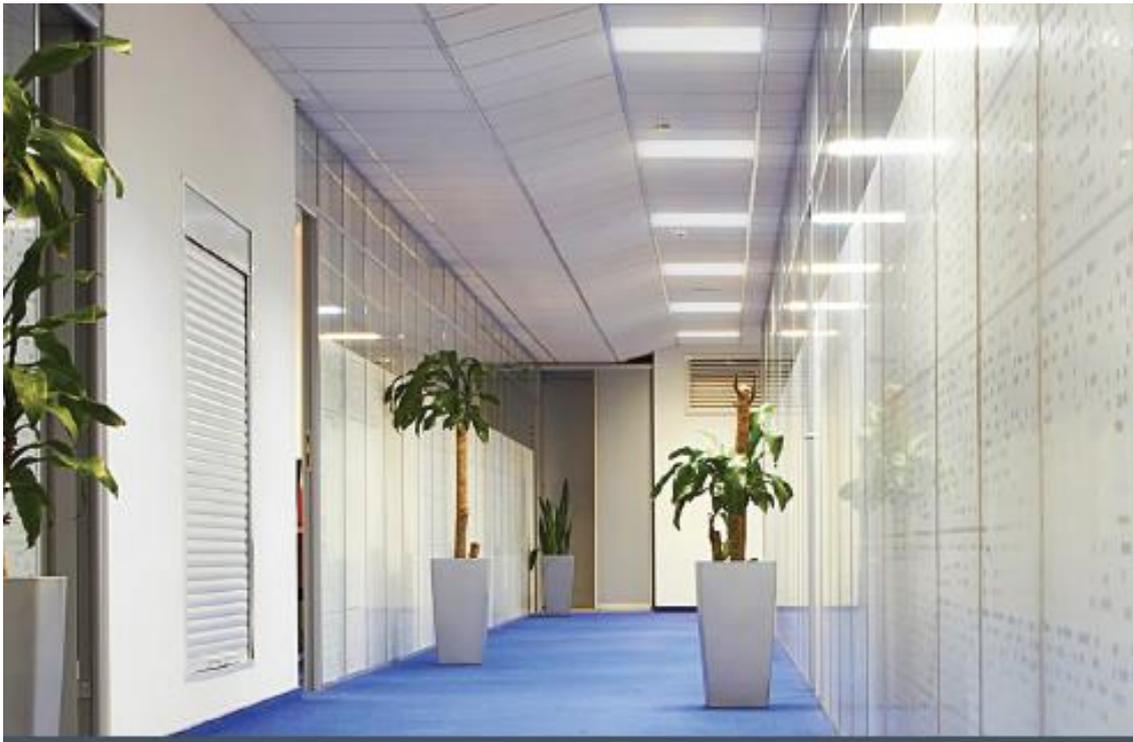
Dimensiones (mm)



Lámpara	A	B
20W	609,6	26
40W	1213,6	26

Fuente: Catálogo Sylvania, 2015, p. 16

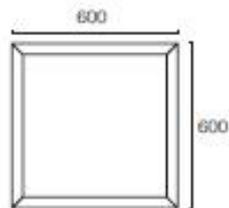
Anexo E. Hoja técnica panel led.



Especificaciones

Código	Descripción Comercial	Potencia (W)	Flujo Lumínico (lm)	CCT (K)	Tensión de Línea (V)
P0436-3a	Lumipanel Led 45W 6000K 100-240V	45	3000	6000	100-240

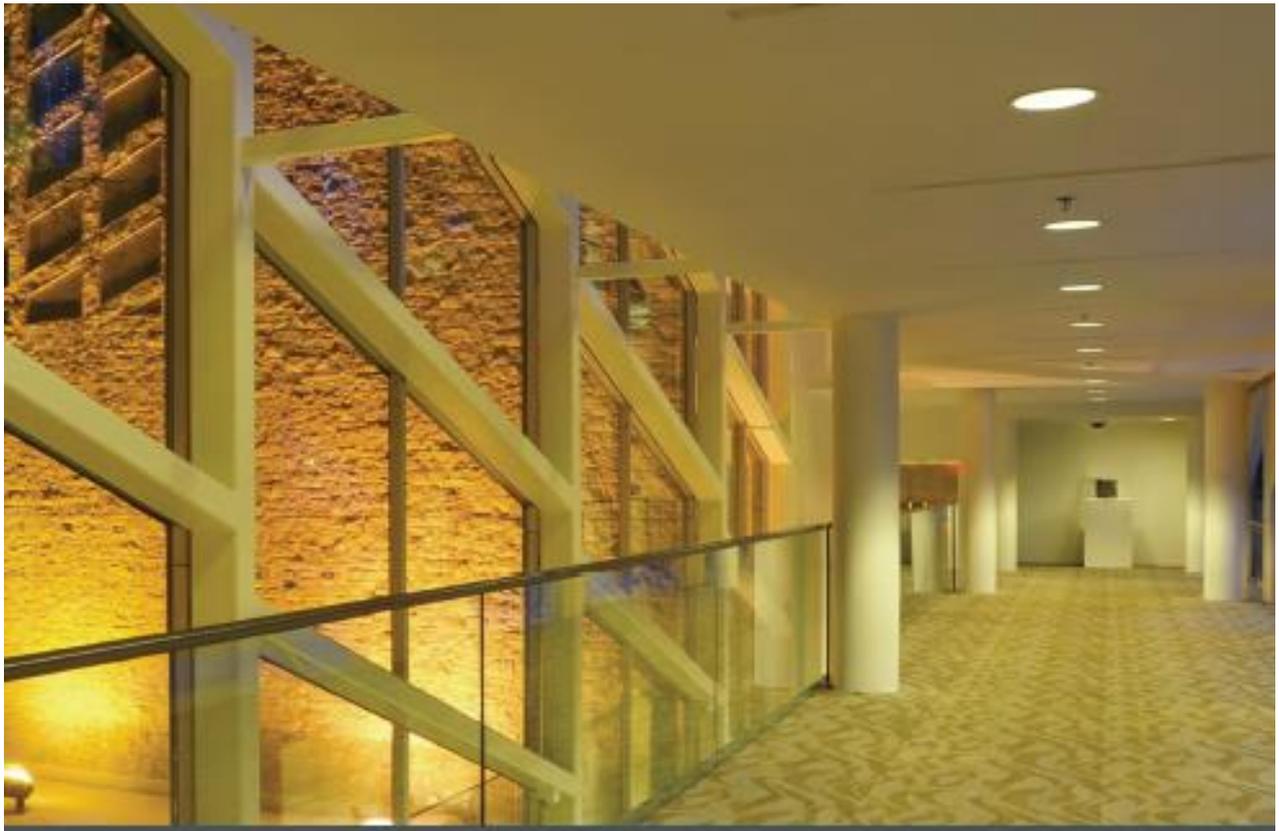
Dimensiones (mm)



SYLVANIA 19

Fuente: Catálogo Sylvania, 2015, p. 2.

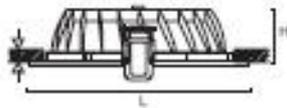
Anexo F. Hoja técnica led panel light redondo.



Especificaciones

Código	Descripción Comercial	Potencia (W)	Flujo Lumínico (lm)	CCT (K)	Tensión de Línea (V)	Diámetro de empotrado (mm)
P04304-36	Syl-lighter Eco 12W Led 6500K	12	800	6500	100-240V	100
P04305-36	Syl-lighter Eco 34W Led 6500K	34	800	6500	100-240V	225

Dimensiones (mm)



Modelo	L	H
Syl-lighter Eco 12W Led	100	65
Syl-lighter Eco 34W Led	225	65

SYLVANIA II

Fuente: Catálogo Sylvania, 2015, p. 4.

Anexo G. Hoja técnica luminaria halógena dicroica.

SYLVANIA



HALÓGENO DICROICO

Características

- Excelente rendimiento de color.
- Vida útil hasta de 2 500 h.

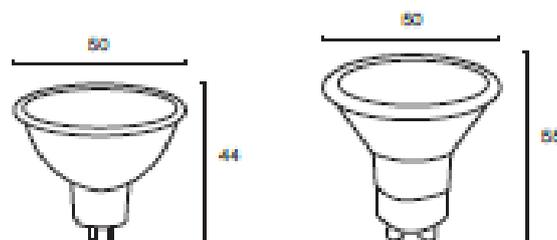
Aplicaciones

- Tiendas.
- Restaurantes.
- Galerías y museos.
- Residencial.
- Locales comerciales.

Especificaciones

Código	Potencia (W)	Tensión (V)	Flujo Lumínico (lm)	Temperatura de Color (K)	Base	Apertura	Vida Útil (h)
MR16 (Ø5.3)							
P9716-33	20	Ø	600	3000	Ø5.3	38°	3000
P92525-33	50	Ø	1650	3000	Ø5.3	38°	3000
P50024-33	50	Ø	1650	3000	Ø5.3	60°	3000
JCQR							
P906433	50	100-130	1100	3000	Ø110	35°	3500
P3308-33	50	100-130	1100	3700	Ø5.3	38°	3500

Dimensiones (mm)



MR16

JCQR

Fuente: Catálogo Sylvania, 2015, p. 19.

Anexo H. Hoja técnica fluorescente.

Lámparas Fluorescentes Tubulares

Potencia	Clave	Estatus	Kelvin (TC)	MOL (mm)	Bulbo	Base	Características y Símbolos Especiales	IRC	Vida Útil Promedio (ciclos 3hr.)	Vida Útil Promedio (Ciclos 12hr.)	Flujo Luminoso Inicial	Flujo Luminoso Promedio	Unidad de Empaque (piezas)
T5 HE - Alta Eficacia (continuación)													
21W	233247	MTS	6,500	863.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	1,960	1,823	40
28W	211565	MTS	3,000	1,163.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	2,900	2,697	40
	161018	MTS	4,000	1,163.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	2,900	2,697	40
	211581	MTS	6,500	1,163.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	2,700	2,511	40
35W	211599	MTS	3,000	1,463.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	3,650	3,395	40
	230953	MTS	4,000	1,463.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	3,650	3,395	40
	233239	MTS	6,500	1,463.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	3,400	3,162	40
T5 HO - Alta Salida Luminosa													
24W	211615	MTS	3,000	563.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	1,950	1,814	40
	211631	MTS	4,000	563.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	1,950	1,814	40
	211649	MTS	6,500	563.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	1,900	1,900	40
39W	211656	MTS	3,000	863.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	3,500	3,255	40
	211672	MTS	4,000	863.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	3,500	3,255	40
	195155	MTS	6,500	863.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	3,300	3,069	40
54W	211680	MTS	3,000	1,163.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	5,000	4,650	40
	211706	MTS	4,000	1,163.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	5,000	4,650	40
	135103	MTS	5,000	1,163.2	T5 16 mm	G5	❖● Atenuable	85	25,000	35,000	4,750	4,418	40
	147454	MTS	6,500	1,163.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	4,750	4,418	40
80W	290841	MTS	3,000	1,463.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	7,000	6,650	40
	290882	MTS	4,000	1,463.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	7,000	6,650	40
	211532	MTS	6,500	1,463.2	T5 16 mm	G5	❖ Atenuable	85	25,000	35,000	6,650	6,650	40
T5 Circular													
22W	166017	MTO	3,000	2200	T5 16 mm	2GX13	❖● Atenuable	85	12,000	n/d	1,800	1,530	10
	166009	MTO	4,000	2200	T5 16 mm	2GX13	❖● Atenuable	85	12,000	n/d	1,800	1,530	10
55W	165936	MTO	3,000	2930	T5 16 mm	2GX13	❖● Atenuable	85	12,000	n/d	4,200	3,580	10
	165928	MTO	4,000	2930	T5 16 mm	2GX13	❖● Atenuable	85	12,000	n/d	4,200	3,580	10

Fuente: Catálogo Philips, 2010, p. 46.

Anexo I. Factores de utilización.

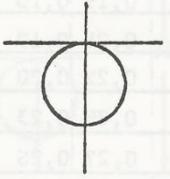
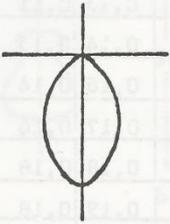
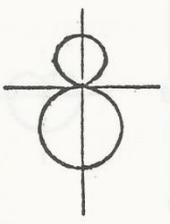
TABLA # 2
METODO C.I.E. PHILIPS

LÍZ INCANDESCENTE	Rt %	70			50			30		
	Rp %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
SISTEMA DE DISTRIBUCION	Kr	FACTORES DE UTILIZACION								
DIRECTO  % 0 ↑ 75 ↓ 75	1,0	0,27	0,22	0,18	0,27	0,22	0,18	0,26	0,22	0,18
	1,2	0,31	0,26	0,22	0,30	0,26	0,22	0,30	0,26	0,22
	1,5	0,36	0,31	0,27	0,35	0,30	0,27	0,34	0,30	0,27
	2,0	0,43	0,38	0,34	0,42	0,37	0,34	0,41	0,37	0,34
	2,5	0,48	0,43	0,40	0,47	0,43	0,39	0,47	0,42	0,39
	3,0	0,52	0,47	0,44	0,50	0,47	0,44	0,50	0,46	0,44
	4,0	0,57	0,53	0,50	0,56	0,53	0,50	0,56	0,53	0,50
	5,0	0,61	0,58	0,55	0,60	0,57	0,55	0,59	0,57	0,55
	6,0	0,63	0,61	0,58	0,63	0,60	0,58	0,62	0,60	0,58
	8,0	0,67	0,65	0,63	0,66	0,64	0,63	0,66	0,64	0,63
	10,0	0,69	0,68	0,66	0,69	0,67	0,66	0,68	0,67	0,66
SEMIDIRECTO  % 17 ↑ 80 ↓ 63	1,0	0,26	0,21	0,17	0,25	0,20	0,17	0,24	0,19	0,16
	1,2	0,30	0,25	0,21	0,29	0,24	0,21	0,27	0,23	0,19
	1,5	0,36	0,30	0,26	0,34	0,29	0,25	0,31	0,27	0,24
	2,0	0,42	0,37	0,33	0,39	0,35	0,31	0,37	0,33	0,30
	2,5	0,48	0,43	0,39	0,44	0,40	0,37	0,41	0,37	0,35
	3,0	0,51	0,46	0,42	0,47	0,44	0,40	0,45	0,41	0,39
	4,0	0,56	0,52	0,49	0,53	0,50	0,47	0,50	0,47	0,44
	5,0	0,60	0,57	0,54	0,56	0,53	0,51	0,53	0,51	0,49
	6,0	0,62	0,59	0,57	0,59	0,56	0,54	0,55	0,53	0,51
	8,0	0,66	0,63	0,62	0,62	0,60	0,59	0,58	0,57	0,55
	10,0	0,68	0,66	0,65	0,64	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59
DIFUSOR  % 39 ↑ 80 ↓ 41	1,0	0,21	0,16	0,12	0,18	0,13	0,11	0,15	0,11	0,09
	1,2	0,24	0,19	0,15	0,21	0,16	0,13	0,17	0,13	0,11
	1,5	0,27	0,23	0,19	0,25	0,20	0,17	0,21	0,17	0,14
	2,0	0,35	0,29	0,25	0,29	0,25	0,21	0,24	0,21	0,18
	2,5	0,38	0,33	0,28	0,32	0,28	0,25	0,27	0,23	0,20
	3,0	0,41	0,36	0,32	0,35	0,31	0,27	0,29	0,25	0,23
	4,0	0,46	0,41	0,38	0,39	0,36	0,32	0,33	0,30	0,27
	5,0	0,49	0,45	0,41	0,42	0,39	0,36	0,36	0,33	0,30
	6,0	0,52	0,48	0,44	0,44	0,41	0,38	0,37	0,35	0,32
	8,0	0,54	0,52	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
	10,0	0,57	0,54	0,52	0,49	0,47	0,45	0,42	0,40	0,38

Fuente: Román, 2000, p. 14.

Anexo J. Factores de utilización fluorescentes.

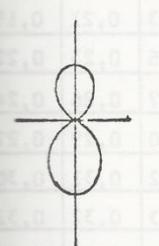
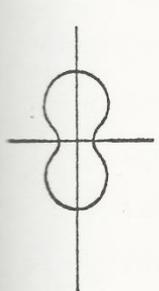
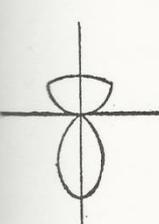
TABLA #4
METODO C.I.E. PHILIPS

LUZ FLUORESCENTE	Rt %	70			50			30				
	Rp %	50	30	10	50	30	10	50	30			
SISTEMA DE DISTRIBUCION	Kr	FACTORES DE UTILIZACION										
DIRECTO 	0	1,0	0,26	0,21	0,17	0,26	0,21	0,17	0,25	0,20	0	
	1,2	0,31	0,25	0,21	0,30	0,25	0,21	0,29	0,25	0		
	1,5	0,36	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,34	0,30	0		
	2,0	0,42	0,37	0,33	0,42	0,37	0,33	0,41	0,37	0		
	2,5	0,47	0,42	0,39	0,46	0,42	0,38	0,45	0,41	0		
	3,0	0,51	0,46	0,42	0,50	0,46	0,42	0,49	0,45	0		
	4,0	0,56	0,52	0,49	0,55	0,52	0,49	0,55	0,52	0		
	5,0	0,60	0,57	0,54	0,59	0,56	0,54	0,58	0,56	0		
	6,0	0,62	0,59	0,57	0,61	0,59	0,56	0,61	0,58	0		
	75	8,0	0,66	0,64	0,62	0,65	0,64	0,62	0,65	0,63	0	
	75	10,0	0,68	0,67	0,65	0,68	0,66	0,65	0,67	0,66	0	
	DIRECTO CON REJA 	0	1,0	0,22	0,18	0,16	0,21	0,18	0,16	0,21	0,18	0
		1,2	0,25	0,22	0,19	0,25	0,21	0,19	0,24	0,21	0	
1,5		0,29	0,26	0,23	0,29	0,26	0,23	0,28	0,26	0		
2,0		0,34	0,30	0,28	0,33	0,30	0,28	0,33	0,30	0		
2,5		0,37	0,34	0,32	0,37	0,34	0,32	0,36	0,34	0		
55		3,0	0,40	0,37	0,35	0,39	0,37	0,35	0,39	0,37	0	
55		4,0	0,44	0,42	0,40	0,43	0,41	0,39	0,43	0,41	0	
55		5,0	0,46	0,44	0,42	0,46	0,44	0,42	0,45	0,44	0	
55		6,0	0,48	0,46	0,45	0,48	0,46	0,45	0,47	0,46	0	
55		8,0	0,50	0,49	0,48	0,50	0,49	0,48	0,50	0,49	0	
55	10,0	0,52	0,51	0,50	0,52	0,51	0,50	0,51	0,51	0		
SEMIDIRECTO 	22	1,0	0,22	0,18	0,14	0,20	0,16	0,13	0,18	0,15	0	
	22	1,2	0,26	0,22	0,18	0,24	0,20	0,17	0,21	0,18	0	
	22	1,5	0,31	0,27	0,23	0,28	0,24	0,21	0,25	0,22	0	
	22	2,0	0,36	0,31	0,29	0,33	0,29	0,26	0,30	0,27	0	
	22	2,5	0,40	0,36	0,33	0,36	0,33	0,30	0,33	0,31	0	
	70	3,0	0,43	0,39	0,36	0,39	0,36	0,33	0,36	0,33	0	
	70	4,0	0,47	0,45	0,42	0,44	0,41	0,39	0,40	0,38	0	
	70	5,0	0,51	0,48	0,46	0,47	0,44	0,42	0,43	0,41	0	
	70	6,0	0,53	0,50	0,48	0,49	0,46	0,46	0,44	0,43	0	
	48	8,0	0,55	0,54	0,52	0,52	0,50	0,49	0,48	0,46	0	
48	10,0	0,58	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,49	0		

Fuente: Román, 2000, p. 16.

Anexo K. Factores de utilización fluorescentes.

TABLA # 5
METODO C.I.E. PHILIPS

LUZ FLUORESCENTE	Rt %	70			50			30		
	Rp %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
SISTEMA DE DISTRIBUCION	Kr	FACTORES DE UTILIZACION								
SEMIDIRECTO CON REJA % 24 ↑ 60 ↓ 36 	1.0	0.20	0.16	0.14	0.18	0.15	0.13	0.16	0.13	0.12
	1.2	0.22	0.19	0.17	0.20	0.17	0.15	0.18	0.16	0.14
	1.5	0.26	0.23	0.21	0.24	0.21	0.19	0.21	0.19	0.17
	2.0	0.32	0.28	0.26	0.28	0.26	0.23	0.25	0.23	0.21
	2.5	0.35	0.32	0.29	0.31	0.29	0.27	0.28	0.26	0.24
	3.0	0.38	0.35	0.32	0.34	0.31	0.30	0.30	0.28	0.27
	4.0	0.41	0.39	0.37	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30
	5.0	0.44	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33
	6.0	0.45	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35
	8.0	0.47	0.46	0.45	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37
	10.0	0.49	0.48	0.47	0.44	0.44	0.43	0.40	0.39	0.39
DIFUSOR % 41 ↑ 80 ↓ 39 	1.0	0.24	0.19	0.16	0.20	0.17	0.14	0.17	0.14	0.12
	1.2	0.28	0.23	0.19	0.24	0.20	0.17	0.21	0.17	0.15
	1.5	0.33	0.28	0.24	0.28	0.24	0.21	0.24	0.21	0.16
	2.0	0.38	0.34	0.30	0.33	0.29	0.27	0.26	0.25	0.23
	2.5	0.43	0.38	0.35	0.37	0.33	0.31	0.31	0.29	0.27
	3.0	0.46	0.42	0.39	0.39	0.37	0.34	0.34	0.31	0.29
	4.0	0.51	0.48	0.45	0.44	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34
	5.0	0.54	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.40	0.38	0.37
	6.0	0.56	0.54	0.51	0.49	0.47	0.45	0.41	0.40	0.39
	8.0	0.59	0.57	0.55	0.52	0.50	0.49	0.44	0.43	0.42
	10.0	0.61	0.59	0.58	0.53	0.52	0.51	0.46	0.45	0.45
DIFUSOR CON REJA % 35 ↑ 70 ↓ 35 	1.0	0.22	0.18	0.16	0.20	0.16	0.14	0.17	0.15	0.13
	1.2	0.26	0.22	0.19	0.23	0.19	0.17	0.20	0.17	0.15
	1.5	0.30	0.26	0.23	0.26	0.23	0.21	0.23	0.20	0.18
	2.0	0.36	0.32	0.29	0.31	0.28	0.26	0.27	0.26	0.23
	2.5	0.40	0.36	0.33	0.34	0.32	0.29	0.30	0.28	0.26
	3.0	0.43	0.40	0.36	0.37	0.35	0.32	0.32	0.30	0.28
	4.0	0.47	0.44	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34	0.32
	5.0	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.35
	6.0	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.35	0.38	0.37
	8.0	0.54	0.52	0.51	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.40
	10.0	0.55	0.54	0.53	0.49	0.48	0.47	0.43	0.42	0.42

Fuente: Román, 2000, p. 17.