



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMERICAS

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE BACHILLER EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD ENTRE SISTEMAS DE
ILUMINACIÓN LED Y FLUORESCENTES**

AUTOR:

JAVIER FRANCISCO HIDALGO JIMÉNEZ

TUTOR:

ING. ALEJANDRO CERVANTES U.

LECTOR:

ADOLFO ARIAS ECHANDI

**SAN JOSÉ, COSTA RICA
FEBRERO 2021**



Resumen

En los últimos años el mercado nos presenta la tecnología de iluminación LED como una mejora importante en la disminución del consumo energético, tanto a nivel residencial, como industrial, comercial y entre otros. Se investigó el historial de comparación, pero la mayoría de las comparaciones se presentan entre la iluminación LED y la iluminación incandescente o luminarias de vapor de sodio, por lo cual nace una pregunta: ¿Qué tan beneficioso es la tecnología de iluminación LED con respecto al sistema de iluminación fluorescente?

Este trabajo se trata de una recopilación de diferentes factores económicos, sociales y ambientales relacionados a la escogencia de la tecnología de la iluminación LED o fluorescente. De acuerdo a estos 3 se intentará conseguir el balance que mejor se adecue para iluminar desde dos perspectivas: una industrial y un edificio de oficinas.

Es importante considerar que la iluminación es de gran importancia en el ámbito laboral, pues una iluminación intensa, deficiente o irregular puede ocasionar incomodidad en las personas que pasan muchas horas en esta área, por tanto se quiere definir un diseño de iluminación lo mejor posible, considerando las necesidades o requerimientos que el cliente pueda requerir.

Por otra parte, también debemos considerar que el costo económico de un desarrollo (construcción) es muy importante para definir si el costo de la construcción del proyecto, empresa o industria es rentable, y por ende el precio debe ser el menor posible.

No menos importante, considerar el impacto ambiental de la procedencia de la materia prima, residuos y condiciones del proceso de fabricación de las luminarias, así como del descarte de las mismas al final de su vida útil, pues debemos adecuarnos a productos y energías sustentables de modo que busquemos conservar el planeta para las generaciones venideras.

Con todos estos factores se busca el equilibrio que mejor se ajuste a las necesidades del cliente, considerando los precios y tecnología más actuales y considerando los conceptos de sostenibilidad ambiental, por medio de un Análisis de Ciclo de Vida de los diferentes panoramas propuestos.

Las condiciones de grado de iluminación se buscarán los más equivalentes posibles por medio del programa "Dialux", realizando un diseño de una propuesta para la iluminación LED versus una propuesta de iluminación fluorescente para industria. Del mismo modo realizar una propuesta de iluminación LED para edificio de oficinas versus una propuesta de iluminación fluorescente.

Las consideraciones de los costos por mantenimiento en cada una de las propuestas están fuera del alcance de este estudio.

Los costos económicos de adquirir una luminaria LED pueden ser altos con respecto a la tecnología fluorescente, pero se pueden ver recompensados con una mejor reproducción de color, una mayor variedad de características de iluminación inteligente y control remoto, un menor consumo de energía eléctrica, una mayor posibilidad de utilización de generación fotovoltaica al tener un menor consumo eléctrico, un menor impacto ambiental, entre otras.

Finalmente se concluye en este estudio que la tecnología led puede tener un mayor costo adquisitivo con respecto a la tecnología de iluminación fluorescente, pero esta inversión se ve bien

recompensada debido al gran ahorro energético, su mayor tiempo de vida útil y su disminución en la emisión de gases de efecto invernadero.

Dedicatoria

A mi Yesy

La cual fue mi todo y mi compañera a lo largo de este todo este proyecto.

A mis padres y hermanos

De quienes atesoro sus enseñanzas y momentos juntos como una de las cosas más importantes en mi vida.

A mis niños

A quienes adoro y fueron gran parte de mi inspiración para seguir adelante con este trabajo.

Agradecimientos

A Cesar

Quien me apoyó durante toda mi carrera

A Yesy

Quien me dio todo su apoyo desde el inicio y hasta el final.

A mis padres y hermanos

De quienes tuve todo el apoyo económico y moral en lo que pudieron.

A mis niños

Por todas esas muestras de cariño, las cuales me animaban cada vez que me sentía cansado o molesto

A los profesores universitarios

De quienes obtuve gran cantidad de conocimientos.

Por último pero no menos importante a Ricardo

Por toda su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

CÓDIGO DE ÉTICA

El suscrito Javier Francisco Hidalgo Jiménez número de carné: 100761, graduado del grado de bachillerato de la carrera de Ingeniería electromecánica de la Universidad Internacional de las Américas, se compromete a cumplir, durante el ejercicio profesional, con el Código de Ética de la Institución, que se rige por los siguiente principios:

PROBIDAD: actuar siempre con rectitud y honradez.

PRUDENCIA: actuar con pleno conocimiento de la materia sometida a su consideración.

JUSTICIA: permanente disposición hacia las funciones de la profesión, bajo los lineamientos legales que debe respetar todo profesional.

RESPONSABILIDAD: cumplir con los deberes, tanto en calidad como en oportunidad.

DISCRECIÓN: guardar respeto sobre los hechos o informaciones de los que tenga conocimiento con motivo del ejercicio profesional, sin que esto perjudique las funciones y responsabilidades.

INDEPENDENCIA DE CRITERIO: no involucrarse o comprometerse con situaciones, intereses o actividades contrarias a la moral, a la sana crítica y que, por ley, sean incompatibles con las funciones profesionales correspondientes.

DIGNIDAD Y DECORO: actuar con sobriedad y moderación.

TOLERANCIA: evidenciar una actitud paciente y de comprensión ante las opiniones divergentes que puedan expresar otras personas.

EQUILIBRIO: desempeñar las funciones profesionales con sentido práctico, buen juicio y equidad.

ACTUALIZACIÓN: comprometer parte del tiempo en actualizar los conocimientos y adaptarlos en el desarrollo de la actividad profesional.

VOCACIÓN: mostrar siempre apego al trabajo y a la educación recibida, como fundamentos para el desempeño laboral.

BUENA FE: toda conducta o comportamiento, criterio emitido y labor desempeñada debe basarse en los más altos principios éticos y tendrá como fundamento la buena fe.

Javier Francisco Hidalgo Jiménez.

Cédula: 2-0619-0244

CONTENIDO

Resumen	2
Dedicatoria	4
Agradecimientos.....	5
Capítulo I: Introducción	9
1.1. Planteamiento del problema	9
1.2. Objetivos.....	9
1.2.1. Objetivo general	9
1.2.2. Objetivos específicos.....	9
1.3. Justificación	9
1.4. Alcances.....	10
Capítulo II: Marco referencial.....	11
2.1. Limitaciones	11
2.2. Antecedentes.....	12
Capítulo III: Marco teórico	24
3.1. Iluminación.....	24
3.1.1. Historia	24
3.1.2. Partes de una luminaria	25
3.1.3. Tipos de lámparas.....	26
3.1.1. Parámetros de las luminarias.....	31
3.1.2. Curva de distribución luminosa.....	36
3.2. Dialux	37
3.3. Normativa	37
3.3.1. Valores de iluminación recomendados por INTECO	38
3.4. Análisis de sostenibilidad	40
3.4.1. Indicadores ambientales	41
3.4.2. Análisis de ciclo de vida.....	43
3.5. Costo de adquisición.....	46
Capítulo IV: Metodología	47
Capítulo V: Análisis de resultados	53
Capítulo VI: Conclusiones	71

Capítulo VII: Recomendaciones	72
Bibliografía.....	73
Anexos.....	77
Anexo A: Lista de luminarias del proyecto industrial en tecnología fluorescente.....	77
Anexo B: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de sanitarios de proyecto industrial fluorescente.	78
Anexo C: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de cuarto de máquinas de proyecto industrial fluorescente.	80
Anexo D: Resultado de cálculo de iluminación de primer nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial fluorescente.	81
Anexo E: Resultado de cálculo de iluminación de segundo nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial fluorescente.	85
Anexo F: Lista de luminarias del proyecto industrial en tecnología led.	86
Anexo G: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de sanitarios de proyecto industrial led.	87
Anexo H: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de cuarto de máquinas de proyecto industrial led.....	89
Anexo I: Resultado de cálculo de iluminación de primer nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial led.	90
Anexo J: Resultado de cálculo de iluminación de segundo nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial led.	94
Anexo K: Lista de luminarias del proyecto de oficinas en tecnología fluorescente.	95
Anexo L: Resultado de cálculo de iluminación del edificio completo de proyecto de oficinas fluorescente.	96
Anexo M: Lista de luminarias del proyecto de oficinas en tecnología led.	102
Anexo N: Resultado de cálculo de iluminación del edificio completo de proyecto de oficinas led.	103

Capítulo I: Introducción

1.1. Planteamiento del problema

¿Cuál sería la tecnología de iluminación que mejor se adecue a las necesidades de una industria y de un edificio de oficinas, considerando los conceptos de sostenibilidad ambiental, en Costa Rica, en el año 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la tecnología de iluminación que mejor se adecue a las necesidades de una industria y de un edificio de oficinas, considerando los conceptos de sostenibilidad ambiental, en Costa Rica, en el año 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir un modelo de tecnología de iluminación LED y otro de iluminación fluorescente que sean semejantes y adecuados para una oficina.
- Definir un modelo de tecnología de iluminación LED y otro de iluminación fluorescente que sean semejantes y adecuados para una industria.
- Realizar un diseño de iluminación para cada una de las tecnologías de iluminación para un edificio de oficinas y para una industria.
- Indicar el costo de adquisición de las luminarias escogidas para cada uno de los diseños.
- Determinar la potencia total para cada tecnología de iluminación para un edificio industrial y para un edificio de oficinas.
- Definir el costo por hora y anual por consumo energético y por adquisición para cada diseño de iluminación.
- Medir la huella de carbono mediante análisis de ciclo de vida de los diseños de iluminación.

1.3. Justificación

En la actualidad se presenta la tecnología de iluminación LED como una propuesta de mayor eficiencia de consumo eléctrico, pero dicha tecnología más comúnmente se analiza desde los valores de la iluminación incandescente. Sin embargo en el mercado existe desde hace varios años la tecnología fluorescente, la cual también presenta una mayor eficiencia de consumo con respecto a la iluminación incandescente. Lo que se quiere demostrar en esta investigación es cuál de estas tecnologías presenta el menor costo por lumen.

Por otra parte, para la fabricación de las luminarias LED y fluorescentes se utilizan ciertos materiales que pueden provocar un impacto ambiental en su producción, uso y(o) desuso, por lo cual se pretende realizar un análisis de ciclo de vida y evaluar los criterios con el fin de determinar cuál de estas dos tecnologías se ajuste mejor al concepto de sostenibilidad ambiental.

Además se considera una comparación de los avances tecnológicos a los que se pueden adaptar cada una de estas dos tecnologías (aplicaciones inteligentes).

Para lo anterior se presentan dos puntos de vista: el industrial y el ambiente de oficinas, estos dos mercados tienen diferentes requerimientos de capacidad de iluminación y de requerimientos técnicos de parte del cliente.

La investigación se realiza con el fin de conocer en cuales áreas es más adecuado utilizar cada una de estas 2 tecnologías y tener una comparación clara para que la persona que requiera adquirir alguno de sus productos tenga una idea general (cada caso es distinto) de cuales de los razonamientos obtenidos le son de mayor relevancia para tomar esta decisión.

1.4. Alcances

En esta investigación se realizará un diseño de iluminación para cada caso de luminaria. Con estos diseños se entregará un informe con la simulación en el programa Dialux de cada una de las propuestas.

Se entregará una propuesta financiera comparando el costo de implementar cada uno de los diseños propuestos

Se entregará un estudio del análisis de huella ambiental de cada uno de los diseños propuestos.

Capítulo II: Marco referencial

2.1.Limitaciones

Esta tesis cuenta con las siguientes limitaciones:

- No se posee el valor adquisitivo para considerar el montaje real del diseño de la iluminación, por lo que la comparación entre las diferentes propuestas de distribución de la iluminación se deberá analizar únicamente por medio de valores teóricos obtenidos por medio del programa “Dialux”.
- Se parte de que todas las luminarias led; sin importar el modelo; tienen el mismo valor de emisiones de gases de efecto invernadero, para el análisis de ciclo de vida.
- Se parte de que todas las luminarias fluorescentes; sin importar el modelo; tienen el mismo valor de emisiones de gases de efecto invernadero, para el análisis de ciclo de vida.
- Se parte de que el valor de vida útil estimado por el fabricante es correcto.
- Se parte de que el factor de emisiones de gases de efecto invernadero; indicados por la Comisión Programa de Gestión Ambiental Institucional; por kWh en Costa Rica son correctos y actuales.

2.2. Antecedentes

Tesis 1

Institución: Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador.

Tema: Diseño de iluminación con luminarias tipo LED basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas.

Autor(es): Miguel Paul Castro Guaman y Norman Christos Posligua Murillo.

Año: 2015.

Los autores de esta tesis de grado proponen en su objetivo general “diseñar una iluminación para el confort visual en base a la iluminación uniforme, luminancia óptima, ausencia de brillos deslumbrante, condiciones de contraste adecuadas, colores correctos, ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.” Con este objetivo proponen un diseño de luminarias por medio de simulaciones en el programa “dialux”.

Además resaltan la importancia de basarse en normas internacionales, como la norma IESNA siglas en inglés de Illuminating Engineering Society of North America (Sociedad de ingeniería en iluminación de Norte América), la CIE siglas en francés de Commission Internationale de l'éclairage (Comisión Internacional de la iluminación), la UNE Asociación Española de Normalización, etc.

Se menciona la importancia del uso racional de la energía y el impacto ambiental en el desarrollo sostenible. Menciona los tres factores en que se basa el concepto de desarrollo sostenible: sociedad, economía y medio ambiente. Se indica que la eficiencia de los dispositivos es de gran importancia para lograr un menor impacto ambiental.

Por otra parte se mencionan los conceptos de: curva de distribución luminosa o curva fotométrica, deslumbramiento, temperatura de color de la luz, índice de reproducción de colores, factor o índice de mantenimiento, entre otros.

Los autores concluyen que “el trabajo realizado permite conocer e identificar los modelos de luminarias LED que existen en el mercado para diferentes aplicaciones”

Los autores destacan el alcance, facilidad y ventajas de usar el programa “dialux” para el modelado de diseños de iluminación. Se indica el sitio web donde se puede descargar este programa y se explica brevemente como se utiliza.

Tesis 2

Institución: Universidad Católica de Colombia, Colombia.

Tema: Propuesta de una iluminación alternativa de eficiencia energética en el edificio El Cubo en la ciudad de Bogotá.

Autor(es): Daniela Paola Granados Poveda y Leidy Ximena Rey Vargas.

Año: 2019.

El objetivo principal de esta investigación consiste en: “Proponer una estrategia de eficiencia energética para el edificio el Cubo en la ciudad de Bogotá, y realizar un análisis de rentabilidad asociado que permita dar a conocer la viabilidad de la implementación de la propuesta”

Este trabajo está dirigido a la implementación y mejoramiento de edificaciones más amigables con el medio ambiente por medio de la implementación de tecnologías alternativas a las actuales que tengan una mayor eficiencia. Todo esto por medio de la certificación LEED, siglas en inglés de Leadership in Energy & Environmental Design; asociado a la organización U.S. Green Building Council (USGBC), los cuales son de los más importantes certificadores en construcciones amigables con el medio ambiente.

Se presenta un diseño de tecnología de iluminación LED con el fin de disminuir el consumo del edificio, que a su vez ayuda a que se pueda implementar un sistema fotovoltaico.

Se destacan las ventajas y desventajas del uso de las luminarias de tecnología LED. Además se hace hincapié en que el costo inicial elevado con respecto a una luminaria convencional se ve recompensada con el ahorro en mantenimiento, tanto por el material de recambio como por la mano de obra, la cual dependiendo de si el sitio en cuestión es de difícil acceso puede suponer un costo mayor.

El estudio menciona que si la edificación cuenta con apertura hacia la luz natural se puede aprovechar esta característica en complemento con la capacidad de atenuación de capacidad lumínica (dimerización) por medio de un control de iluminación, y así reducir aún más el consumo energético. De igual forma destaca la capacidad de personalizar espacios para crear ambientes confortables por medio de la regulación de las luminarias, con ajuste y programación de escenas de luz y hasta la gestión de a nivel cronológico, es decir una programación calendarizada de la iluminación.

Esta tesis concluye que el retorno de inversión de la propuesta de implementación de paneles solares en conjunto del cambio de la iluminación existente por tecnología LED es; aproximadamente; de 6 años.

Tesis 3

Institución: Universidad de Alicante, España.

Tema: Integración de metodologías de análisis de ciclo de vida al diseño sistemático de procesos químicos.

Autor(es): Norberto García Cano.

Año: 2016.

En esta tesis se destaca el tema de desarrollo sostenible, donde se establece que existen varias métricas y metodologías de análisis de ciclo de vida (ACV). Se resalta “la necesidad de utilizar técnicas de decisión multicriterio para identificar las preferencias del diseñador y ayudarlo en la toma de decisiones”

El autor encontró que el utilizar técnicas de ACV le permitió detectar opciones de mejora en las actividades indirectas y en la generación de energía y en la elaboración de la materia prima.

Se mencionan que los indicadores ambientales se separan primariamente en dos grupos:

- “Categorías asociadas a la contaminación provocada por los flujos de salida de los sistemas: agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad, acidificación y eutrofización, olor, ruidos, radiación, etc.”
- “Categorías asociadas al agotamiento de los recursos por los flujos de entrada a los sistemas: agotamiento de los recursos minerales y bióticos, uso de la tierra y consumo de agua”

Este documento identifica una serie de identificadores ambientales que no requieren estimación de emisiones, del análisis del destino o de un modelo de impacto ambiental, propuestos por Sharrat (1999), Allen y col (2002) y Constable y col. (2009). Algunos de estos son: la energía consumida por unidad de producto fabricado, la cantidad de materiales utilizados en el producto menos la masa del producto por unidad de producto fabricado, la cantidad o concentración de contaminantes vertidos y/o emitidos, la eficiencia atómica, el factor de carga medioambiental, el volumen crítico y el “global warming potential”

Por último destaca el detalle de los objetivos y las fases del ACV.

Tesis 4

Institución: Universidad César Vallejo, Perú.

Tema: Sistema de iluminación LED que permita reducir el consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación de la zona céntrica de Morales, 2018.

Autor(es): Michel Dávila Trigozo.

Año: 2018.

El autor incluye dentro de sus objetivos demostrar los beneficios y la disminución del consumo de energía; por medio de la implementación de un sistema de iluminación LED.

En este estudio se analiza el sistema actual (luminarias de vapor de sodio) con respecto al sistema propuesto (luminarias LED)

Se muestran fórmulas para el cálculo de la iluminación media de un área específica.

Se definió una distribución para iluminación de tecnología LED de montaje en poste.

Este trabajo detalla los cálculos para el consumo de una luminaria y con esto se determinó el consumo anual total de cada propuesta y este resultado se reflejó en un monto en soles de dicho consumo. El resultado obtenido reflejó que realizar el cambio de las luminarias existentes (Vapor de sodio) por las propuestas (LED) lograría una disminución de consumo eléctrico de un 53%.

Se concluyó que los ahorros percibidos al cabo de 12 años; considerando únicamente la disminución en consumo; son aproximadamente de 28.946,52 soles (aproximadamente unos 4.849.716,51 colones, según datos sobre moneda brindados por morningstar y sobre criptomoneda brindados por coinbase al 19-02-2021)

El autor de este estudio estima el periodo del retorno de inversión en menos de 5 años.

Tesis 5

Institución: Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Tema: Análisis del ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso.

Autor(es): Ana Serrano Tierz, Abelardo Martínez Iturbe, Oscar Guarddon Muñoz y Jose Luis Santolaya Sáenz.

Año: 2015.

El objetivo de este estudio es: “cuantificar el ahorro económico que supone cambiar un sistema de iluminación LED.” Se analiza las características de dos modelos de luminarias: las lámparas tecnología de halogenuros de metálicos de 400W y una lámpara de tecnología LED de 200W. Adicional a esto se compara los consumos de ambos modelos con el fin de determinar el ahorro energético del cambio y su retorno de inversión.

Destaca en este trabajo el análisis de la temperatura de operación de las luminarias, pues dependiendo de la industria la temperatura puede ser menor a la recomendada para las luminarias fluorescentes, las cuales según nos indican los autores son “fuertemente dependientes de la temperatura ambiente”, lo cual puede producir que se requiera mayor cantidad de luminarias para lograr el valor de luminosidad requerido.

En este trabajo se realizó la simulación de luminotécnica por medio del programa Dialux, lo que nos ayuda junto con otros antecedentes a identificar que el este programa es posiblemente el más utilizado para realizar simulaciones de iluminación por su libre disposición y alta cantidad disposición de datos de los diferentes modelos de luminarias que hay en el mercado.

En las conclusiones se destaca que utilizar luminarias LED en industrias que trabajan con jornada continua de 24h puede generar una muy importante mejora en la disminución del consumo energético, y por tanto una reducción de tarifa con respecto a las luminarias de halogenuros metálicos. Además las emisiones de CO₂ por el uso de tecnología de iluminación LED son menores a las de la tecnología de halogenuros metálicos; sin contar la disminución del impacto ambiental de la disminución de residuos tóxicos, como el mercurio.

Tesis 6

Institución: Universidad Tecnológica del Perú, Perú.

Tema: Diseño de iluminación LED con control domótico para el ahorro de energía eléctrica y su implementación en las oficinas corporativas del edificio Torre Begonias.

Autor(es): Job Urrutia Bones.

Año: 2019.

El objetivo principal de este trabajo de tesis consiste en: “Diseñar alumbrado de interiores con iluminación LED con control domótico para el ahorro de energía e implementar en las oficinas corporativas de Edificio Torre Begonias del distrito de San Isidro, departamento de Lima en el año 2019, realizando los cálculos de carga y de consumo de energía, análisis de costo-beneficio mediante VAN, TIR, recuperación de la inversión. Asimismo; simular usando herramientas Dialux cumpliendo las normas Vigentes”

Destaca de este trabajo la utilización; como en la gran mayoría de los trabajos con simulaciones de luminosidad; el uso del programa Dialux.

En las conclusiones destaca el valor obtenido por este estudio donde se aprecia una mejora en la iluminación LED, con una eficiencia de un 52% mayor a la tecnología de iluminación fluorescente, pero teniendo claro que el estudio considera la utilización de un sistema con control domótico que mejora la eficiencia de la iluminación LED al desconectar la luminaria cuando no está en uso, así como la atenuación de la intensidad de la luminaria cuando sea requerido.

Tesis 7

Institución: Universidad Nacional, Costa Rica.

Tema: Propuesta para una iluminación eficiente en el edificio de ciencias Forenses y Medicina Legal de San Joaquín de Flores, Heredia.

Autor(es): Paola Reyes Pérez.

Año: 2016.

El objetivo principal de este trabajo de tesis es: “Proponer un sistema de iluminación eficiente para el edificio compartido de Laboratorios de Ciencia Forense y Medicina Forense de la Ciudad Judicial San Joaquín de Flores, que mejore los niveles de iluminación y reduzca el consumo eléctrico”

En esta tesis se realizó un estudio de iluminación bajo la normativa de la INTECO: INTE 31-06-06 2014, para el edificio de Ciencias Forense y Medicina Legal del OIJ. Este edificio cuenta con 3 niveles y se encontró en su mayoría luminarias fluorescentes.

La autora utilizó el programa “dialux” para mostrar los panoramas de las luminarias existentes en el edificio y de una propuesta realizada por la misma con luminarias LED.

Además se realizó una comparativa en consumo eléctrico anual de las luminarias LED y de las luminarias fluorescentes, y por medio de esto realizar un estimado de la factura correspondiente a este consumo energético por cada piso.

Se calculó el VAN y el TIR de hacer el cambio de la iluminación actual del edificio a tecnología LED; obteniendo un VAN de $\text{C}\$52.158.778,55$, un TIR del 43% y un retorno de inversión de 2.85 años, para el primer piso. Para el segundo piso obtuvo un VAN de $\text{C}\$18.659,36$, un TIR de 10% y un retorno de inversión de 4.2 años. Para el tercer piso obtuvo un VAN de $-\text{C}\$18.194.995,57$, un TIR de 3% y un retorno de inversión de 7.2 años. Para el cálculo de todo esto consideró para la inflación una tasa de descuento de 10%.

También se analizó el impacto ambiental obteniendo una disminución de las emisiones de CO₂ para el primer piso de un 51%, al cambiar la luminarias fluorescentes existentes por la propuesta de iluminación en tecnología LED. Para el segundo piso las emisiones de la propuesta de iluminación en tecnología LED disminuyen las emisiones de CO₂ en un 44%. Y para el tercer piso las emisiones de CO₂ disminuyen en un 25% realizando el cambio de las luminarias a tecnología LED.

Por último destaca la conclusión que indica que: “Según el estudio, demostró que las luminarias sólo son usadas durante la jornada laboral, evitando ser empleadas durante la hora de almuerzo o bien, la inactividad de área de trabajo, estas permanecen apagadas”

Tesis 8

Institución: Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Tema: Diseño de un sistema fotovoltaico y propuesta de modernización del sistema de iluminación de un edificio administrativo.

Autor(es): Thomas Leandro Sandoval.

Año: 2017.

Esta tesis establece como su objetivo principal: “Efectuar el diseño de un sistema fotovoltaico y especificar la rentabilidad de cambiar luminarias en un edificio administrativo ubicado en el cantón de Monte de Oca, en la provincia de San José”

Este estudio está basado en un edificio administrativo, el cual consta en su gran mayoría de luminarias de tubos fluorescentes tipo T8, además se analizó la implementación de un sistema fotovoltaico conectado al sistema eléctrico con el fin de disminuir más el consumo eléctrico.

Se menciona la norma INTECO 31-08-2000 y la importancia que tiene la misma en las condiciones de iluminación de los centros de trabajo.

Destaca la mención de los tipos de tecnología de iluminación: fluorescente y LED. Se compara ambas tecnologías y se menciona que en promedio las luminarias fluorescentes tienen una vida útil de 15 mil horas, mientras que luminaria de tubos LED tienen una vida útil que alcanza más de 50 mil horas. Los valores de consumo eléctrico también son menores para luminaria de tubo LED con respecto a los tubos fluorescentes.

Su conclusión principal detalla: “En la sección 4.1 se realiza el análisis del sistema de iluminación basado en lámparas fluorescentes tipo T8. En primer lugar se hace un levantamiento del sistema de iluminación actual. Luego se procede a realizar una comparación entre lo existente y tres soluciones usando opciones de luminarias led. Un punto importante es lograr cumplir los estándares de iluminación interior establecidos en la norma INTECO 31- 08-2000, para lo cual se debe diseñar con la potencia de lámparas led, muy similares a las fluorescentes tipo T8. Por ejemplo, en las tablas 29, 36 y 42 de la sección 4.2.1 se observa que para igualar las condiciones solicitadas por la norma prácticamente se debe duplicar la cantidad de luminarias presentes y obtener niveles de lux semejantes a los actuales, que dieron valores para la TIR de -2% y VAN de -17 097 402 -para el segundo caso planteado- y una TIR de -1% con VAN de -18 842 428 para la tercera opción. Por tanto, la inversión se hace alta y difícil de recuperar.”

En la justificación se destaca que el análisis se realizó con el fin de determinar el cambio en el sistema beneficiaría al ambiente por medio de una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así como el beneficio económico que tendría la reducción en tarifa eléctrica.

Tesis 9

Institución: Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Tema: Diseño de iluminación para túneles realizado con diferentes tecnologías.

Autor(es): Jeyson Esquivel Chinchilla.

Año: 2019.

Esta tesis establece como su objetivo principal: “Diseñar el sistema de iluminación que sea más eficiente para emplearlo en un local comercial de la cadena TODO HOGAR ubicado en la provincia de Cartago.”

En este trabajo se destaca la investigación de las ventajas y desventajas de la tecnología de iluminación LED.

Se realizó un análisis socioeconómico del impacto ocasionado por la implementación de este proyecto.

Se aprecian las características importantes de una luminaria, como los son: la temperatura de color, el índice de deslumbramiento unificado, el efecto Purkinje, intensidad luminosa, índice de reproducción de color, vida útil, y eficacia luminosa.

En este estudio se escogió la norma de iluminación IESNA, según indica el autor por un tema de que no existe una norma nacional específica para el objeto de este estudio, por lo que se utilizó la recomendación brindada por CNFL.

Este trabajo incluye varias tablas con los parámetros con la información de las luminarias y sus distintas características y precios, además se considera un análisis del por qué se seleccionó o descartó un modelo de luminaria para la propuesta.

Las conclusiones obtenidas por el autor recalcan la importancia del uso de un software de simulación de iluminación con el fin de agilizar el proceso del diseño sin tener que hacer algún gasto para tener un aproximado del resultado.

Tesis 10

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Tema: Sistema de iluminación para un local comercial.

Autor(es): Marco Antonio Jerez Esquivel.

Año: 2013.

El objetivo principal que se establece en esta tesis indica: “Efectuar un diseño de iluminación de túneles utilizando dos tecnologías distintas”

Este documento presenta en sus objetivos una comparación entre el diseño actual de un local comercial, con respecto a una propuesta con la mejor distribución y utilizando tecnologías más eficientes existentes en el mercado. Se propuso con esto obtener un presupuesto de implementar el proyecto.

El autor obtuvo datos que indican que la utilización de la luminaria de tubos LED es menos rentable que la luminaria de tubos fluorescentes.

Como su principal conclusión se indica que: “Al investigar sobre las normas se determinó que la parte de normativa sobre iluminación de alumbrado público es inexistente. Además, tampoco existe una normativa para el uso de exteriores como parqueos, parques y túneles, por lo cual las personas o empresas que se dedican al diseño de sistemas de iluminación en exteriores deben basarse en normas extranjeras y, además de esto, tratar de adaptarlas ya que las condiciones son totalmente diferentes. En el caso de la investigación correspondiente a este documento se usó la norma IESNA la cual se adaptó a las necesidades del país y se logró así obtener criterios y valores importantes para la realización del diseño. Por lo tanto, la norma IESNA es una buena opción, no solo para túneles sino para diseño de iluminación exterior, puesto que es muy accesible y fácil de comprender”

Este autor también hace hincapié en la importancia de la utilización de un software de simulación de iluminación, para tener valores aproximados a la realidad sin tener que hacer algún gasto por la implementación de la propuesta.

Por último en las conclusiones se recalca la utilización de la norma INTECO INTE 31-08-06-2000 para determinar la cantidad de luxes que se deben utilizar en un local comercial.

Tesis 11

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Tema: Análisis de las nuevas tendencias tecnológicas utilizadas en diseños eléctricos de iluminación y aire acondicionado basados en ahorro energético de edificios de oficinas.

Autor(es): Oscar Francisco Quirós Villalobos.

Año: 2018.

El presente estudio se propone como objetivo general: “analizar las nuevas tendencias tecnológicas utilizadas en diseños eléctricos de iluminación y aire acondicionado basado en ahorro energético de edificios de oficinas, por medio de la comparación entre un sistema diseñado en base al ahorro energético contra un sistema convencional.”

Este trabajo se considera la normativa INTECO para su investigación, en conjunto con el Código Eléctrico Nacional.

El cálculo de iluminación para este trabajo se realizó por medio del método de lúmenes, en la que consideró una media de error del $\pm 5\%$.

Por otra parte esta investigación obtuvo que el retorno de inversión; para una propuesta de iluminación con Tecnología LED; de aproximadamente 3 años y 8 meses. Además el TIR de esta propuesta es de un 32%.

En las conclusiones se destaca que entre las tecnologías de iluminación LED, fluorescentes e incandescentes; la tecnología de iluminación LED es la escogida como la más eficiente, donde se obtuvo para la luminaria LED una eficiencia de 100 lúmenes por watt. Además concluye el autor; que el uso las luminarias de tecnología LED en conjunto con un sistema de iluminación inteligente puede disminuir en mayor medida al consumo mensual de la tarifa eléctrica.

En las recomendaciones el autor destaca que para el tema de iluminación existe un sistema de persianas automáticas, que se puede coordinar con un control de iluminación, con el fin de aprovechar la luz la incidencia solar del día. Pero dicho sistema es de un alto costo, por lo que nos recomienda el autor de realizar un análisis de consumo eléctrico para definir si es rentable implementar este sistema.

Tesis 12

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Tema: Análisis de un sistema eléctrico dedicado a la iluminación para la implementación de paneles fotovoltaicos una empresa electromecánica.

Autor(es): Jorge Arturo Salas Calderón.

Año: 2018.

En este estudio destaca el siguiente objetivo: “Escoger la mejor opción para disminuir costos de energía entre un sistema LED con fotovoltaico y un sistema bombillas fluorescentes con fotovoltaico”

Destaca en este trabajo el uso del método de lúmenes para el cálculo de la iluminación necesaria para la(s) área(s) de estudio.

Se encuentra en este trabajo una comparación indirecta del costo de la tecnología de iluminación fluorescente con respecto a la tecnología de iluminación LED, pues se realiza una propuesta de un diseño fotovoltaico con iluminación LED y otro sistema fotovoltaico con iluminación fluorescente.

En las conclusiones se destaca que el autor recomienda a la empresa en caso de querer cambiar únicamente la iluminación; pues las propuestas con paneles fotovoltaicos no fueron rentables; el utilizar la tecnología de iluminación LED, pues la misma; si bien tiene un costo mayor; tiene una vida útil mayor que la tecnología de iluminación fluorescente.

Capítulo III: Marco teórico

3.1. Iluminación

3.1.1. Historia

Indica Martin (1988) “desde muy antiguo, el hombre comenzó a iluminar los espacios que habitaba, en los momentos que el sol dejaba de lucir, perfeccionando los sistemas de alumbrado según los progresos tecnológicos y gustos de las distintas épocas. Podríamos por tanto, suponer que el primer método de alumbrado sería la antorcha, más tarde vendría la vela, hasta dar paso a otra técnica más avanzada tras el descubrimiento de combustibles capaces de proporcionar una llama” (p.3)

Menciona Hernández (2012) que:

El progreso de la tecnología de iluminación fue lento, y no fue hasta el final de la Edad Media que aparecieron las primeras lámparas portátiles de aceite. La primera gran evolución de la iluminación se originó con la Revolución Industrial. La necesidad de extender las jornadas laborales provocó que se hicieran muchas mejoras en las lámparas de aceite. Después se crearon las lámparas de gas. Esta importante era de la iluminación termina de forma magistral con el desarrollo de la lámpara eléctrica incandescente

Desde 1802 se había demostrado que un alambre de metal emite luz al pasarle una corriente eléctrica. Pero el alambre sólo duraba un pequeño instante. Fue hasta 1879 que Edison desarrolló el primer bulbo incandescente que no se quemaba. Sus primeras lámparas duraban unas 40 horas, muchísimo comparado con un instante, pero poco comparado con los focos de hoy en día de 1000 horas, los cuales usan la tecnología de filamento de tungsteno en espiral desarrollada en los 30s.

Otra revolución en iluminación, específicamente en eficiencia, comenzó con el desarrollo en 1936 de la primera lámpara fluorescente. Esta tecnología de iluminación se basa en la lámpara de descarga de gas, la cual produce luz cuando una corriente eléctrica pasa a través de un gas. Desde 1808 se había demostrado que una corriente eléctrica que fluye entre un par de electrodos produce un resplandor. Pero la emisión era principalmente ultravioleta (UV), por lo que no era práctico usarla como fuente de iluminación. Fue hasta 1924 que el descubrimiento de los fósforos, que convierten a luz visible la radiación UV de una lámpara de vapor de mercurio, hizo posible su aplicación en iluminación. Las primeras lámparas fluorescentes eran muy costosas, grandes, frágiles y tenían varios problemas técnicos. Esto hizo muy lenta su aceptación en el mercado y fue hasta los 80s que empezó con fuerza su comercialización con la introducción de las lámparas fluorescentes compactas. Hoy en día, la lámpara fluorescente le ha ganado la guerra a la incandescente en muchas aplicaciones. (pp.1-2)

Por otra parte Hernández (2012) menciona que en los años 60 se construyó el primer LED de luz roja visible, pero este dispositivo tenía un flujo luminoso pequeño, por lo que únicamente se utilizó como luz indicadora. Fue hasta en los años 90 con el desarrollo de los LED superbrillantes que se empezó a utilizar esta tecnología con el fines de iluminación de general.

3.1.2. Partes de una luminaria

Las luminarias se componen de diferentes partes, según su tecnología, forma, aplicación, capacidad, entre otras. Todos los modelos de luminarias son distintos dependiendo del fabricante y tecnología, los accesorios mencionados a continuación forman parte una luminaria, sin embargo no todos los accesorios son indispensables, en otras palabras, algunos modelos no requieren de alguno(s) de los accesorios o son opcionales.

3.1.2.1. La lámpara

Definida por Reyes (2016) como: “La fuente de luz. Esta puede ser el bombillo incandescente, el fluorescente lineal o lámpara fluorescente (LFC), la lámpara de mercurio de alta tensión, entre otros” (p.25). Es generalmente, la pieza que se debe cambiar más comúnmente, pues al momento de sufrir un daño por un evento; ya sea por un golpe, sobrecarga o simplemente “quemarse” al cumplir su vida útil; la luminaria deja de funcionar.

3.1.2.2. Equipos auxiliares

También conocidos popularmente como balastos, son dispositivos que se utilizan con el fin de regular los valores de electricidad a la entrada de las luminarias. Es decir, son dispositivos que se conectan previo a la luminaria con el fin de ayudar a que la luminaria opere apropiadamente y no se dañe, previene que se produzca un efecto no deseado, de filtro o bien que conserve una cantidad de energía por medio de una batería. Según Reyes (2016) existen los de tipo reactivo, cebadores o arrancadores y los condensadores. Las luminarias pueden tener uno o varios; así como ninguno de estos dispositivos. Por ejemplo las luminarias fluorescentes que utilizan balastro y adicionalmente pueden tener un balastro de emergencia, el cual provee de energía la luminaria por un tiempo determinado. El balastro de emergencia se utiliza cuando la luminaria se encuentra en un área o pasillo de evacuación.

3.1.2.3. Reflectores

Según Reyes (2016) “se componen de una superficie brillante (de aluminio anodizado, chapa esmaltada o un material similar), cuenta con una forma adecuada para emitir la luz y el flujo” (p.25). Su función consiste en aprovechar al máximo la luz reflejando la que se proyecta originalmente en sentido contrario, este dispositivo la redirecciona en el sentido que se requiere.

3.1.2.4. Refractores

De acuerdo a Reyes (2016) “están constituidos con cubetas, globos o pantallas de vidrio o materiales plásticos, con estrías, para que la luz experimente cambios de dirección por refracción, pudiendo aumentarse la intensidad luminosa en las direcciones que se deseen” (p.25). Realizan una función semejante a la que realizan los reflectores, pero la diferencia radica en que lo hace de una forma más indirecta o menos puntual.

3.1.2.5. Difusores

Definidos por Reyes (2016) como los encargados de reducir la capacidad de luminosidad de la lámpara con el fin de evitar el deslumbramiento. Son dispositivos que filtran parte de la luz y la difuminan de una forma más suave, de manera que evitan que la lámpara pueda generar una iluminación demasiado intensa y provoque deslumbramiento en el (los) usuarios.

3.1.2.6. *Control*

Según Reyes (2016) “es el dispositivo que opera el encendido o pagado [sic] de la lámpara, ya sea en forma manual o automática” (p.26). Es el dispositivo que hace la función de conectar y desconectar la alimentación eléctrica para que la lámpara entre en funcionamiento o bien se apague cuando el que la opera lo requiera, o bien por medios automatizados.

3.1.3. *Tipos de lámparas*

Los tipos de lámparas son muy variadas, pero por concepto del alcance de este trabajo se detallan únicamente las mencionadas para este estudio, que son:

3.1.3.1. *Lámpara incandescente*

Según García (s.f.) el principio de funcionamiento de una lámpara incandescente consiste en pasar corriente eléctrica por un filamento, y debido a una alta temperatura, este emite radiaciones visibles por el ojo humano.

Principio de incandescencia

Indica García (s.f.) que “todos los cuerpos emiten energía en forma de radiación electromagnética. Mientras más alta sea su temperatura mayor será la energía emitida y la porción del espectro electromagnético ocupado por las radiaciones emitidas. Si el cuerpo pasa la temperatura de incandescencia una buena parte de estas radiaciones caerán en la zona visible del espectro y obtendremos luz” (párr. 2).

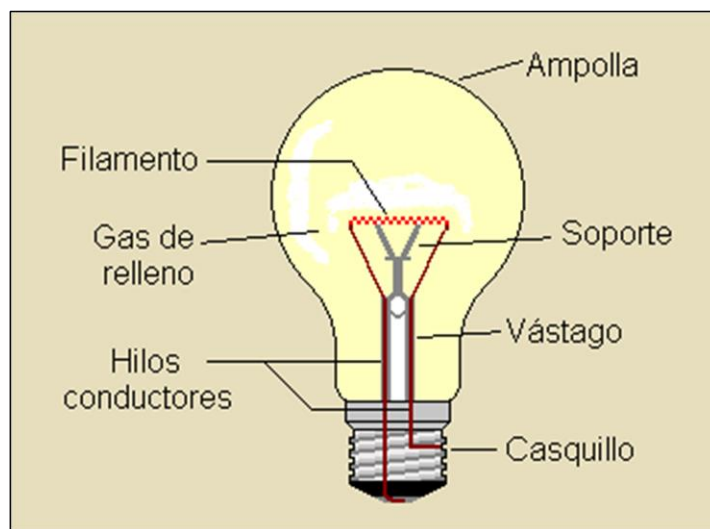


Figura 1: Partes de una lámpara incandescente

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/lincan.html>

Agrega García (s.f.) que “la incandescencia se puede obtener de dos maneras. La primera es por combustión de alguna sustancia, ya sea sólida como una antorcha de madera, líquida como en una lámpara de aceite o gaseosa como en las lámparas de gas. La segunda es pasando una corriente eléctrica a través de un hilo conductor muy delgado como ocurre en las bombillas corrientes. Tanto de una forma como de otra, obtenemos luz y calor (ya sea calentando las moléculas de aire o por radiaciones infrarrojas). En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor” (párr. 3).

Partes y funcionamiento de una lámpara incandescente

Según Castro y Posligua (2015) la lámpara incandescente consiste de un filamento de tungsteno por el cual le pasa una corriente eléctrica, eso provoca un calentamiento en este filamento debido al efecto joule, que así se produce una radiación visible en forma de luz.

Agregan Castro et al. (2015) que “la lámpara incandescente posee un rendimiento muy bajo, por el motivo que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor, lo que no ofrece muy buena reproducción de los colores. Su beneficio se ve reflejado en sus bajo costos y el color cálido de su luz, su eficiencia es muy baja ya que solo convierte en trabajo (luz visible) alrededor del 15% de la energía consumida. Otro 25% será transformado en energía calorífica y el 60% restante en radiación no perceptible, luz ultravioleta y luz infrarroja, que igual terminan convirtiéndose en calor” (p.71)

3.1.3.2. Lámpara fluorescente de tubo

Según Quirós (2018) “el tubo fluorescente se fabrica de vidrio y su longitud depende de la potencia en watt (W) que tenga la lámpara; tienen un diámetro estandarizado de 25.4mm, la pared interior del tubo se encuentra recubierta con una capa de sustancia fosforescente o fluorescente, cuya misión es convertir los rayos de luz ultravioleta, en radiaciones de luz visible. Su interior se encuentra relleno con un gas inerte, generalmente argón (AR) y una pequeña cantidad de mercurio (Hg) líquido. El gas argón se encarga de facilitar el surgimiento del arco eléctrico que posibilita el encendido de la lámpara. Así como de controlar también la intensidad del flujo de electrones que atraviesa el tubo” (p.40). El diámetro estándar del que habla Quirós es; como veremos más adelante; el correspondiente al tubo tipo T8, que es el más común.

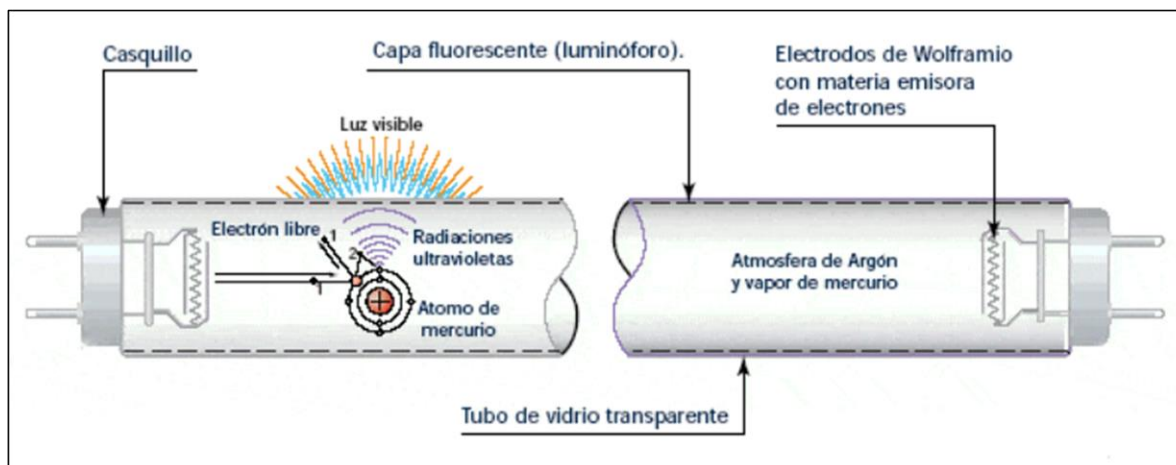


Figura 2: Partes de una lámpara fluorescente de tubo.

Fuente: Manual de iluminación INDAL

Las luminarias fluorescentes llevan accesorios de funcionamiento para regular su encendido u operación, llamados cebador, encendedor, arrancador o más comúnmente como balastro.

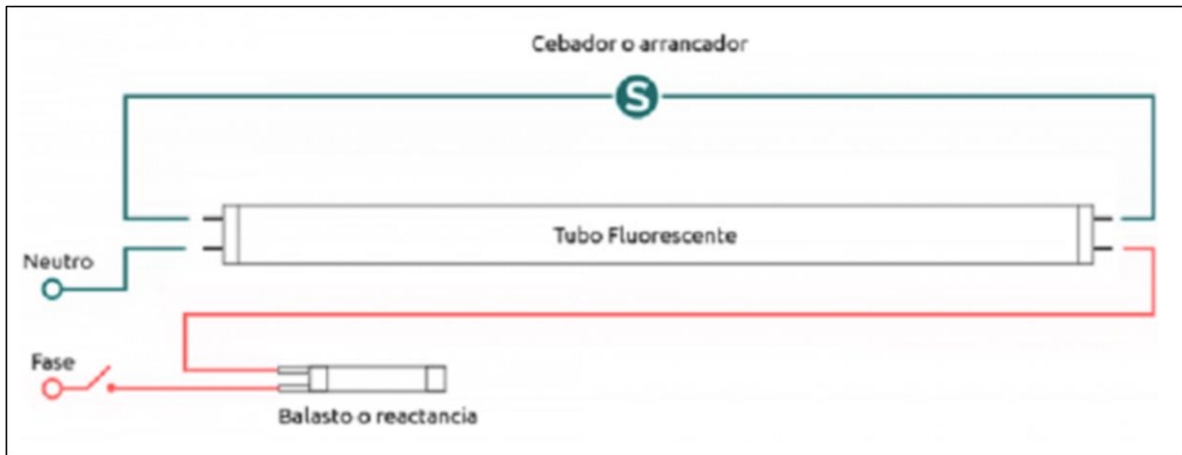


Figura 3: Conexión de balastro al tubo fluorescente.
Fuente: <https://como-funciona.co/un-tubo-fluorescente/>

Existen varios diámetros de tubo fluorescente, donde se destacan principalmente:

Tubo fluorescente tipo T12: Es una tecnología más anticuada, de menor precio. Su nomenclatura proviene de **T**: por tubo y **12**: su diámetro: 12 octavos de pulgada, aprox. 38.1mm.

Tubo fluorescente tipo T8: Es el tubo fluorescente más común, reemplazando al tubo T12 en la mayoría de los casos. Su nomenclatura proviene de **T**: por tubo y **8**: su diámetro: 8 octavos de pulgada, aprox. 25.4mm.

Tubo fluorescente tipo T5: Es más moderno que los dos anteriores. Entrega valores de luminosidad mayores debido a su tecnología que combina varios gases en su interior. Este es el que tiene la mayor eficiencia de los 3 pero, a su vez, el que tiene el mayor costo de adquisición. Su nomenclatura proviene de **T**: por tubo y **5**: su diámetro: 5 octavos de pulgada, aprox. 15.9mm.

Cabe mencionar que también existen; como veremos más adelante; tubos de tecnología LED que simulan a los tubos fluorescentes.

Cada tecnología utiliza su propio tipo de balastro, los tubos tipo T12 usan un balastro magnético, el cual es el más ineficiente de los 3. Los tubos tipo T8 utilizan un balastro electrónico, que es más eficiente que el utilizado por los balastos magnéticos. Y por último el tubo tipo T5 usa; de igual forma que el T8; un balastro electrónico, sin embargo su eficiencia es mayor y por ende mucho mayor a la del balastro electrónico, pero su costo adquisitivo es mayor.

3.1.3.3. Lámpara fluorescente compacto

Las luminarias fluorescentes compactas, también llamadas por sus siglas en inglés CFL (compact fluorescent lamps) son el reemplazo de la lámpara incandescente (bombillo). Funcionan de la misma forma que las lámparas fluorescente de tubo, pero con un tamaño más compacto, al igual que su homónimas (las T8, T5 y T12) tienen una nomenclatura donde la primera letra indica que son T: tubos y un número (2 y 3): su diámetro: 2 octavos de pulgada (aprox. 6.35mm) y 3 octavos de pulgada (aprox. 9.53mm)

Además existen varias nomenclaturas para sus modelos; las cuales dependen del fabricante y que definen: tipo de compacto, temperatura de color de la luz, potencia, tipo de base o tipo de rosca,

tipo de empaque y características especiales (como capacidad de atenuación, tamaño más compacto, etc.). El orden y nomenclatura de su simbología dependen del fabricante.

La lámpara fluorescente compacto a diferencia del fluorescente de tubo convencional, incluye dentro de su estructura física el balastro electrónico necesario para su operación, tal como se aprecia en la figura 4.

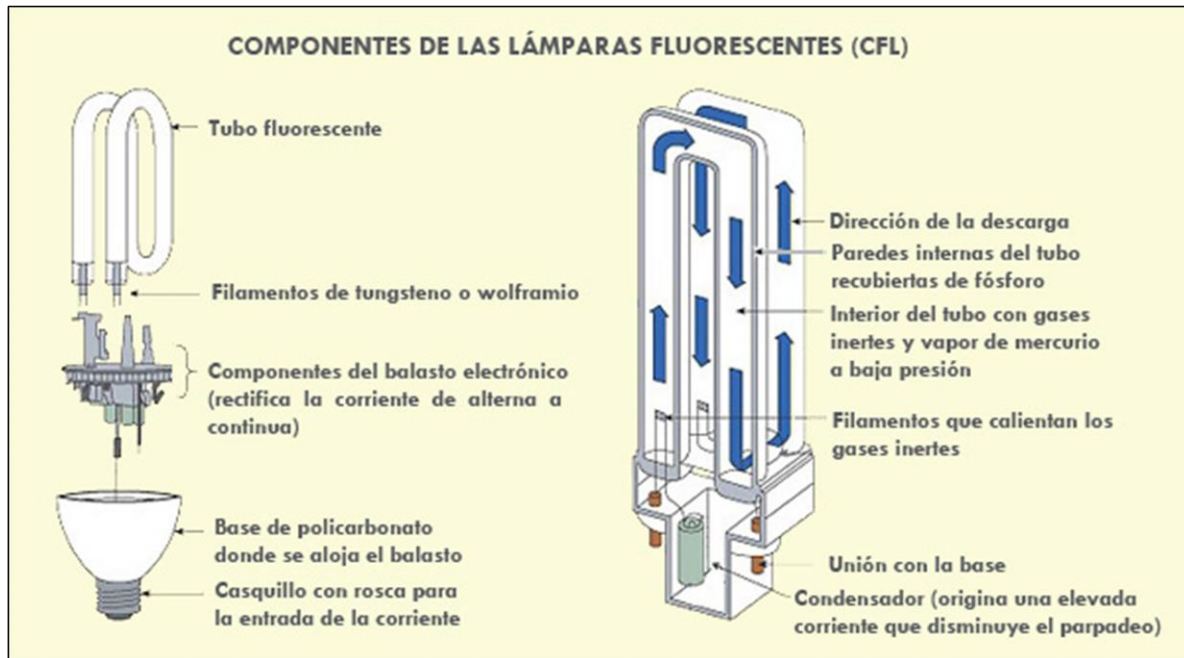


Figura 4: Componentes de una lámpara fluorescente compacto.

Fuente: <http://diver-noticias.blogspot.com/2011/07/lamparas-de-bajo-consumo-lamparas.html>

3.1.3.4. Lámpara LED

Según Reyes (2016) citando a Pomatta (2015) indica que: “El LED (diodo de emisor de Luz) es un tipo de semiconductor que pertenece a la familia de los diodos encargados de conducir la corriente eléctrica más fácilmente de una dirección. Básicamente es un semiconductor unido a dos terminales (ánodo y cátodo) que cuando circula corriente eléctrica produce un efecto llamado electroluminiscencia, fenómeno que transforma la energía eléctrica en radiación visible” (pp.30-31)

Indica Reyes (2016) citando a Pomatta (2015) que “un diodo está compuesto por varias capas de material semiconductor, cuando se aplica corriente eléctrica al conductor se origina una fuerte corriente, generándose luz en una fina capa, llamada capa activa. El LED emite luz casi monocromáticamente, que depende del material utilizado, los cuales son InGaAlP y InGaNg son empleados para producir el LED de alta luminosidad en todos los colores” (p.31)

Además indica Reyes (2016) de acuerdo con Pomatta (2015) que la eficiencia de las lámparas LED se encuentra entre los 100 lm/W y los 300lm/W, estas tienen un índice de reproducción de color de $R_a=80$, las capacidades de vida útil de estas lámparas rondan entre las 50 mil y 100 mil horas. Cabe resaltar que esta cantidad de horas de vida útil se consigue únicamente en condiciones ideales.

Por otra parte nos indica Reyes (2016) de acuerdo con Quintero (2009), que “este tipo de tecnología tiene sus limitaciones de los cuales atribuye: sensibilidad en temperaturas que sean mayor a 65°, donde la mayoría de los LED se estropean y su electrónica también, además se requiere de una elevada disipación térmica, aunque estos genere menos calor que las lámparas convencionales, es importante disiparlo, por lo que los disipadores sean de aluminios y con mucha superficie de disipación; no obstante esto no garantiza mayor tiempo de vida de la lámpara.” (p.31) Por lo contrario al no cumplir con las condiciones ideales la vida útil media estimada por los fabricantes se ve indicada comercialmente como 40 mil a 50 mil horas (en el mejor de los casos) considerando que las condiciones del sitio van a tener condiciones que no son las más ideales para estas lámparas.

Quintero (2009), citado por Reyes (2016) indica para las lámparas LED que “dentro de sus virtudes se encuentran: menor consumo de potencia, debido a que no utiliza otros accesorios para direccionar la energía, larga vida de operación, es la lámpara que cuanta [sic] con más tiempo de vida en comparación a cualquier otra lámpara del mercado, no contiene mercurio en comparación con las lámparas fluorescentes, además no produce contaminación lumínica aunque tenga un mayor cantidad de lm/W” (pp.31-32) Cabe mencionar que existen lámparas LED que simulan la forma del tubo fluorescente, pero que a diferencia del tubo fluorescente común no siempre requieren de balastro, pues el tubo LED internamente tiene un driver que realiza la función correspondiente, mencionada más en detalle a continuación.

Indica Quirós (2018) que las luminarias LED “cuentan con un driver el cual estabiliza la corriente y proporciona una protección térmica, cuentan con un chip el cual es el cerebro y define la calidad e intensidad de la luz, durabilidad y consumo, así como también el color que se desea. Todas estas luminarias cuentan con disipadores de calor los cuales garantizan el buen funcionamiento y duración de las lámparas LED” (p.41)

Por otra parte se debe mencionar que las lámparas LED son de mayor costo adquisitivo que las luminarias fluorescentes, y mucho más aún que las incandescentes; en condiciones y capacidades lumínicas equivalentes. Más cada día se va mejorando la capacidad lumínica y sus costos han disminuido, según Urrutia (2019), hasta en un 20%.

Se debe mencionar que las lámparas de tecnología LED funcionan con corriente directa, la cual es regulada y entregada por el “driver”, que no es otra cosa que un transformador de corriente alterna (la que suministra el sistema eléctrico de cualquier sistema eléctrico de un edificio) a corriente directa, y que a su vez asume el papel de balastro de la lámpara. La distribución de los LEDs en la lámpara es la que dicta las capacidades requeridas por el driver de cada modelo de lámpara LED.

En el mercado existen un sin número de modelos de lámparas de tecnología LED, los cuales varían en sus formas, capacidades, tipo de LED, temperatura de color, vida útil, precio, etc. Incluso algunos modelos permiten variación de su temperatura de color en tiempo real, por medio de un patrón de cromatismo RGB y otras se pueden controlar desde aplicaciones en línea desde un celular, computadora, Tablet, etc; también por medio de conexión wi-fi, por medio de un hub o por medio de radiofrecuencia (por ejemplo bluetooth).

3.1.1. Parámetros de las luminarias

Las luminarias pueden tener muchos parámetros o características a considerar y por ende la selección de una luminaria se debe estudiar muy bien, a continuación se mencionan algunos de estos parámetros con que cuentan las luminarias:

3.1.1.1. Potencia

La potencia es la energía eléctrica consumida por una lámpara, su unidad son los watt (W).

3.1.1.2. Intensidad luminosa, luminosidad, luminiscencia y flujo luminoso

Hay que entender que en el campo de la iluminación hay varios conceptos respectivos a la intensidad de la luz muy similares, pero que difieren, especialmente desde la perspectiva de medición de la luz, trataremos de explicarlos a continuación:

Flujo luminoso

Por una parte tenemos el flujo luminoso, que es; según indica Reyes (2016) citando a Floch (2002); “la cantidad de luz que emite una fuente de luz por unidad de tiempo. Con una frecuencia de 540×10^{12} Hz. y un flujo de energía radiante de $1/683$ vatios” (p.18). Esto es un valor que mide el fabricante con el fin de dar al cliente una idea de la intensidad de luz de la lámpara, pero la cantidad de luz entrega en un área específica depende de muchos valores como la altura, apertura del recinto y hasta el material y color de las paredes. El flujo luminoso es un valor obtenido en un ambiente controlado y en condiciones muy específicas. La unidad de medida del flujo luminoso es el lumen (lm).

Intensidad Luminosa

De acuerdo con Floch (2002), citado por Reyes (2016): “la intensidad luminosa de una fuente puntual que irradia un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido unitario (1 estereorradián)” Este valor corresponde a un valor de iluminación reflejado en área tridimensional, que corresponde a la figura cónica que se forma dentro de una esfera donde el radio (ver imagen 5) es igual a la raíz cuadrada del área que forma la base de dicha figura cónica. La unidad de medida de la intensidad luminosa es la candela (cd).

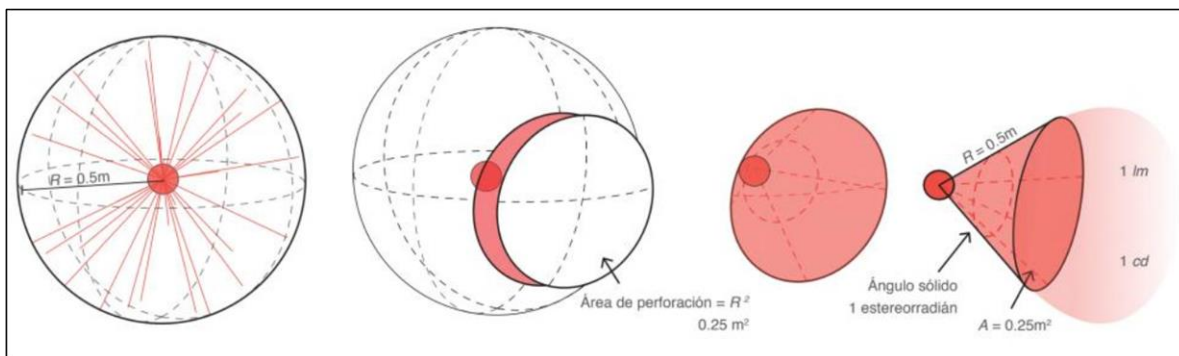


Figura 5: Detalle de figura de un estereorradián.

Fuente: Villazón, Pinzón, Sánchez y Rodríguez (2017). Luz/Materia estrategias proyectuales para la iluminación de espacios arquitectónicos.

Iluminancia

Nos indica Floch (2002), citado por Reyes (2016), que la iluminancia es la “densidad de flujo luminoso sobre una superficie de un metro cuadrado” Este concepto es muy similar al de intensidad luminosa, sin embargo difiere (como se muestra en la figura 6) en el área y distancia desde donde se establece su unidad fundamental. La unidad de medida de la iluminancia es el lux (lx).

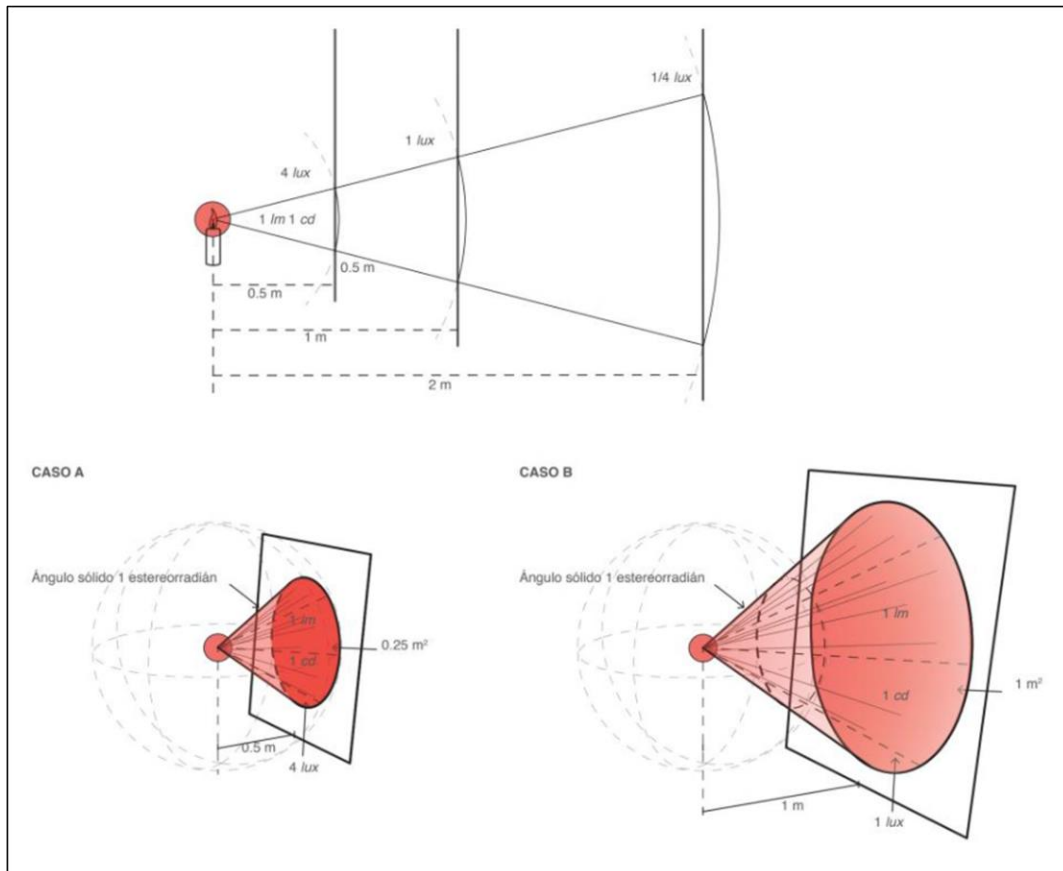


Figura 6: Detalle de lux.

Fuente: Villazón, Pinzón, Sánchez y Rodríguez (2017). Luz/Materia estrategias proyectuales para la iluminación de espacios arquitectónicos.

3.1.1.3. Vida útil y vida media

La vida útil es el tiempo esperado de un objeto (en este caso una lámpara o accesorio de la luminaria) desde su primer uso, hasta su fallo o momento que deje de funcionar correctamente.

Según Esquivel (2019) “el periodo de medición de la vida útil comienza cuando la lámpara se pone en servicio y concluye cuando la cantidad de luz queda en 70% de la nominal” (p.26)

Agrega Esquivel (2019) que las vidas útiles de las lámparas de tecnología LED son de aproximadamente 50 mil horas, mientras que las lámparas halógenas tienen una vida útil aproximada a 2 mil horas de servicio. Y que los parámetros que afectan la vida útil de una lámpara son: la temperatura, la intensidad, la calidad de los materiales que las constituyen y los defectos implícitos.

3.1.1.4. Temperatura de color

Esquivel (2019) nos indica que “la temperatura de color podría definirse como “el predominio de alguno de los colores del espectro lumínico en las luces blancas”, que alteran el color con tendencia a tonos cálidos (ámbar) o a tonos fríos (azul) en el espectro” (p.21)

Menciona Esquivel (2019) que “la temperatura de color se mide en grados Kelvin (K) y solo se aplica a las luces blancas. Si se tiene una fuente de luz de cualquier color, como azul o verde, no se podría medir su temperatura de color. Hay varios tipos de dominantes de color, pero los más destacados son el color anaranjado o ámbar y los de tonalidades azules”

A las luces de colores con temperatura de color más cercanos al amarillo se le llaman cálidas, por la sensación cálida que produce en el ambiente. Mientras que las luces que su temperatura de color es más semejante al azul se las llama frías, por su sensación de ambiente frío.

3.1.1.5. Índice de reproducción de color

El índice de reproducción de color (IRC) es la capacidad de una luminaria de mostrar o reflejar los colores lo más fiel posible al color de la luz natural, sus siglas son IRC, pero en algunas fichas técnicas o hojas de datos se muestran como CRI, por sus siglas en inglés “color rendering index”. Se trata de un valor porcentual, es decir se encuentran entre 0 y 100, siendo 100 el valor más cercano a la luz natural. En todos los modelos de luminarias difiere este valor, dependiendo de su uso, pero el más usual es el de 80.

3.1.1.6. Ángulo de haz de luz

El ángulo de haz de luz se trata del ángulo en que se refleja la mayor parte de la iluminación, algunas lámparas tienen un ángulo de haz de luz amplio, entre 180° y 360°, las cuales son utilizadas comúnmente para iluminación general, pero la luminaria puede incluir un reflector o refractor que modifican al ángulo de haz de luz, para obtener una iluminación más enfocada y así aprovechar mejor la capacidad la lámpara.

Cabe mencionar en algunos casos se utiliza iluminación indirecta, que consiste en que la luz se refleje en alguna superficie más opaca con el fin de obtener valor de iluminación más suaves o bien que se resalte alguna estructura, diseño o superficie.

3.1.1.7. Temperatura de operación

Es la temperatura ambiente a la que se ven sometidos los diferentes accesorios de una luminaria. Se mide en grados Celsius (°C).

En algunos modelos se ven muy afectados por las altas temperaturas, como en la caso de las lámparas LED, y en otros modelos se ven más afectados por las bajas temperaturas, como en el caso de las lámparas fluorescentes.

En la lámpara incandescente la temperatura no le perjudica de forma muy directa su vida útil, más bien estas lámparas pueden ocasionar un cambio en la temperatura ambiente de un recinto. Por ejemplo, el caso las granjas avícolas, donde la temperatura debe ser muy específica, por lo que en ocasiones se utiliza este tipo de luminarias por medio de un control específico (en ocasiones automatizado) para mejorar la producción.

3.1.1.8. Eficacia o rendimiento luminoso

Esquivel (2019) define como luminosa como “el concepto que resulta del reparto matemático del flujo luminoso emitido por la fuente luminosa entre la potencia consumida. Habitualmente se expresa en lúmenes por vatio (lm/W)” (p.27)

3.1.1.9. Tensión de operación

Es la diferencia de potencial o voltaje (V) requerido por la luminaria, usualmente se alimentan a 120V o 240V de corriente alterna. En el caso de las lámparas de tecnología LED se alimentan con voltaje de corriente directa, pero en el sistema eléctrico general de cualquier edificio se cuenta con corriente alterna, por lo que se utilizan drivers para hacer la transformación a corriente directa.

3.1.1.10. Certificaciones

Las lámparas cuentan con certificaciones de aprobación de calidad de material, eficiencia energética, seguridad eléctrica, contenido químico, etc.

Las certificaciones con que cuentan las luminarias dependen en gran medida del mercado o locación donde se comercializa la lámpara, con el fin de ser aprobados por el gobierno del país, los consumidores o bien los distribuidores.

Entre algunas de las certificaciones existen:

NOM: Normas Oficiales Mexicanas.

UL: Norma Norteamericana.

CE: Norma europea

En Costa Rica no es obligatorio el uso de una norma específica, pero sí que el producto tenga al menos una certificación reconocida. Es muy común que el cliente y(o) el profesional responsable de la obra solicite(n) que los materiales eléctricos (incluidas las luminarias) cuenten con certificación UL.

3.1.1.11. Grado de hermeticidad

El grado de hermeticidad viene de una certificación internacional emitida por la comisión electrotécnica internacional “IEC” del inglés (International Electrotechnical Commission). A esta certificación se le llama IP que viene del inglés “Ingress Protection”. Esta entidad básicamente prueba los dispositivos (aplica para muchos dispositivos eléctricos y electrónicos) con el fin de valorar cual es la resistencia que ofrece el dispositivo al ingreso de agua o polvo a los espacios donde se encuentran los circuitos y conexiones sensibles a estos elementos.

El grado de protección IP se conforma con 4 símbolos: 2 letras y 2 números, de la siguiente forma:

IPXY

Donde la **X** es el número de ingreso del polvo, cuyos valores están entre 0 y 6; y la **Y** es el número de ingreso de líquidos, cuyos valores están entre 0 y 9. En ambos valores numéricos entre más alto el número mayor grado de protección.

3.1.1.12. Grado de protección de impacto

El grado de protección de impacto es una certificación internacional emitida por la “IEC”. A esta certificación se le llama IK y al igual que la certificación IP se compone de 4 símbolos: 2 letras y 2 números, de la siguiente forma:

IKZZ

Donde la ZZ es un número de 2 dígitos que representa la capacidad para soportar los impactos mecánicos. Los valores se encuentran entre 00 y 10, siendo 10 el nivel más alto de protección.

Este certificado es el que se consulta para los casos donde la luminaria esté expuesta al vandalismo o golpes.

3.1.1.13. Tipo de montaje

La selección del tipo de montaje es uno de los factores que se debe tener muy claro previo a adquirir una luminaria, pues la arquitectura física de la construcción o sitio es la que dicta cual es el tipo de montaje más apropiado para utilizar. Dentro de los tipos de montaje tenemos:

Montaje Superficial

Se utiliza cuando se sobrepone la estructura que soporta la luminaria o base de la lámpara a una superficie, también se le conoce popularmente como montaje de parche o de sobreponer. Este tipo de montaje es probablemente el más utilizado debido a la facilidad que tiene para su instalación y correspondiente mantenimiento, además es muy versátil pues se puede utilizar en muchos sitios que son normalmente más adecuados para otro montaje. Sin embargo tiene la desventaja que mucha gente encuentra este tipo de montaje menos estético en comparación con algunos de los otros tipos, seguramente por la exposición a la vista de sus componentes.

Montaje suspendido

Este tipo de montaje se utiliza cuando la luminaria se sujeta de forma suspendida; por medio de cables de acero, cadenas u otros; desde una estructura de soporte estructural de la edificación o de algún dispositivo especialmente diseñado para esto.

Esta se utiliza generalmente en edificaciones donde la estructura del techo está a mucha altura con respecto al suelo y no se cuenta con cielorraso, o el mismo se encuentra al igual que el techo a mucha altura. Para estos casos se suele utilizar una luminaria suspendida a menor altura con el fin de obtener una mejor iluminancia del área, pues si se instalara una luminaria con la misma capacidad de flujo luminoso a una gran altura bajaría mucho el valor de iluminancia del área respectiva.

Este tipo de montaje no es particularmente estético, pero por su ventaja de aprovechamiento de las capacidades lo hacen el más usual en edificios de producción, industrias, bodegas o en cualquier edificación donde la estética del lugar no sea algo tan importante y más bien se busca el mayor aprovechamiento, y el factor costo es el de más peso a la hora de la toma de decisiones.

Montaje empotrado

Como la palabra lo indica el montaje empotrado es aquel que se utiliza cuando se instala la luminaria empotrada directamente en una superficie. Este tipo de montaje es considerado más

estético debido a que los componentes de soporte y funcionamiento no se ven a simple vista. El diseño de la luminaria fue realizado por los fabricantes especialmente pensado para obtener una mayor estética y ocultando aquellas partes que no lo requieren.

Este tipo de luminaria en muchas ocasiones cuenta con elementos especiales para montaje, los cuales sujetan la luminaria, se trata de placas, bases o cualquier elemento de sujeción.

Se debe mencionar que existen luminarias para cielo suspendido, las cuales se soportan; al igual que el cielo; de forma suspendida, pero estos soportes quedan ocultos a la vista, pero además dichas luminarias se empotran en la estructura del cielorraso, por esto se les considera empotradas.

Otros tipos de soporte

Existen otros tipo de soporte más específicos para una función muy específica, como por ejemplo las luminarias de alumbrado público, que se montan en un tubo de metal o bien las que se sujetan con abrazaderas a postes de mayor diámetro.

3.1.2. Curva de distribución luminosa

Menciona Círculo de Electricidad Chile (s.f.) y citado por Iluminet (2017):

Las curvas fotométricas son la representación gráfica del comportamiento de la luz. Muestran diferentes características relacionadas con la naturaleza de la fuente, el tipo de reflector, la óptica o el diseño de las luminarias. Contar con las curvas y sus correspondientes archivos fotométricos es una herramienta importante para la selección de la luminaria o la fuente ideal para cada proyecto de iluminación. Es importante disponer de archivos fotométricos fiables y acordes a las curvas polares presentadas por los fabricantes en sus catálogos de luminarias para contar con los cálculos correctos.

Definidas por Círculo de Electricidad Chile (s.f.) y citado por Iluminet (2017): “Las curvas de distribución de la intensidad luminosa son curvas polares obtenidas en laboratorio que describen la dirección e intensidad en la que se distribuye la luz entorno al centro de la fuente luminosa. Para encontrarlas se miden las intensidades luminosas en diversos ángulos verticales alrededor de la fuente (designados como ángulos gamma «g») con un instrumento llamado fotogoniómetro, y al barrer la esfera completa y unir los puntos contenidos en un mismo plano vertical y horizontal se puede obtener un volumen conocido como sólido fotométrico.

En una curva polar de distribución luminosa, la distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de esa fuente en esa dirección. Asimismo, para evitar la tarea de hacer un gráfico para cada lámpara cuando solo varía la potencia de dicha lámpara, los gráficos se normalizan para una fuente de 1000 lúmenes y el dibujo queda expresado entonces en cd/klm (Candela / kilolúmen). Para conocer los valores reales de las intensidades bastará con multiplicar el flujo luminoso nominal de la lámpara por la lectura en el diagrama polar y dividirlo por 1000(lm).

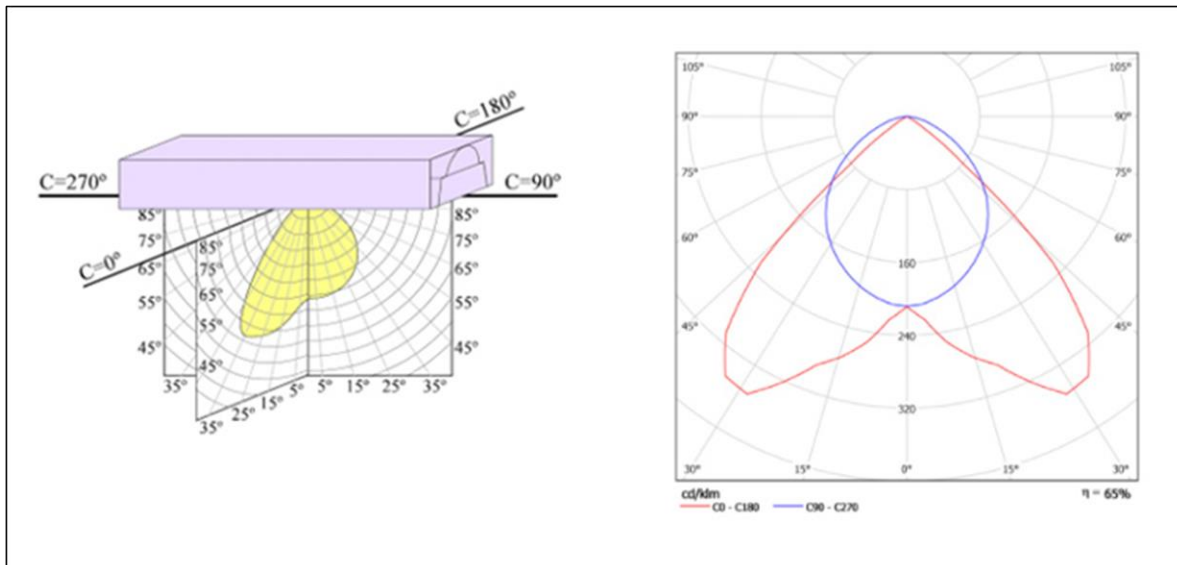


Figura 7: Ejemplos de curva fotométrica.
Fuente: Iluminet (2017).

3.2. Dialux

De acuerdo a la página de dialux, este es un software de acceso libre para uso personal, educacional y comercial. Creado por la compañía de origen alemán “DIAL GmbH” con sede central en Lüdenscheid, Alemania.

Este programa es posiblemente el más utilizado por su gran versatilidad para generar simulaciones de un diseño de iluminación ya sea, en interiores y exteriores; con la capacidad de simular edificios completos o áreas específicas, como espacios de parqueo de vehículos y vías de tránsito; ya sea en condiciones de día o de noche. Además por la gran cantidad de catálogos de modelos de luminarias disponibles.

Este software permite crear simulaciones desde archivos con formato dwg (formato de programa de dibujo AutoCAD, muy utilizado en el mercado) o desde modelos 3D.

3.3. Normativa

Para el tema de la normativa a utilizar para esta investigación, se estará haciendo uso de las normas Nacionales que establece INTECO (2016), que se define a sí mismo como: “El Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, es el Ente Nacional de Normalización, según la Ley N° 8279 del año 2002. Organización de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es “desarrollar la normalización del país con el soporte de los servicios de evaluación de la conformidad y productos relacionados a nivel nacional e internacional, con un equipo humano competente, con credibilidad e independencia”. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.”(p.3)

Más específicamente nos basaremos en la norma INTE/ISO 89995-1:2016, que corresponde a la homologación de la norma ISO 8995 establecida por la Comisión Internacional de Iluminación “CIE”, por sus siglas en francés de Commission Internationale de l'Éclairage.

3.3.1. Valores de iluminación recomendados por INTECO

Para nuestro diseño nos basaremos en el punto 5 de la norma, donde se detalla una lista de requisitos de iluminación. Donde INTECO (2016) nos indica las siguientes aclaraciones:

Columna 1: Lista de interiores (áreas) tareas o actividades

La columna 1 lista aquellos interiores, tareas o actividades para las cuales se brindan requisitos específicos. Si un interior, tarea o actividad en particular no está en la lista, deben adoptarse los valores dados para una situación similar comparable.

Columna 2: Iluminancia mantenida (Em, lux)

La columna 2 brinda la iluminancia mantenida sobre la superficie de referencia para el interior, la tarea o la actividad indicada en la columna 1 (ver 4.3).

Columna 3: Capacidad unificada límite del deslumbramiento (CUDL)

La columna 3 da los límites de la CUD aplicables a las situaciones indicadas en la columna 1 (ver 4.4).

Columna 4: Índice mínimo del rendimiento de color (Ra)

La columna 4 brinda los índices mínimos de rendimiento de color para la situación indicada en la columna 1 (ver 4.6.2).

Columna 5: Observaciones

Se hacen advertencias y notas para las excepciones y aplicaciones especiales de las situaciones listadas en la columna 1. Para las aplicaciones de PVD, ver 4.10. (p.17)

Tipo de interior, tarea o actividad	$E_{m lux}$	CUD_L	R_a	Observaciones
8. INDUSTRIA ALIMENTICIA				
Lugares y zonas de trabajo en cervecerías (preparación de bebidas), piso de germinación de malta, lavado, llenado de barriles, limpieza, cernido (cribado), peladura, cocinado en fábricas de conservas y chocolates, lugares y zonas de trabajo en fábricas de azúcar, secado y curado de tabaco en hoja, toneles (bodegas) de fermentación	200	25	80	
Clasificación y lavado de productos, molienda, mezclado y empaque	300	25	80	
Lugares y zonas de trabajo en mataderos, carnicerías, procesadoras de lácteos, área de filtrado, refinerías de azúcar	500	25	80	
Corte y clasificación de frutas y vegetales	300	25	80	
Fabricación de alimentos selectos, cocinas	500	22	80	
Fabricación de tabacos y cigarrillos	500	22	80	
Inspección de envases y botellas, control de productos, decoración	500	22	80	
Laboratorios	500	19	80	
Inspección de colores	1 000	16	90	Tcp 4 000 K, como mínimo
9. FUNDICIONES Y PLANTAS DE MOLDEO DE METALES				

Figura 8: Extracto para industria de tabla de punto 5 de la norma INTE/ISO 89995-1:2016.
Fuente: INTECO (2016).

Tipo de interior, tarea o actividad	$E_{m lux}$	CUD_L	R_a	Observaciones
Control de calidad	1 000	19	90	Tcp 4 000 K, como mínimo
22. OFICINAS				
Archivado, copiado, circulación, entre otros.	300	19	80	
Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos	500	19	80	Para trabajar en PVD, ver 4.10
Dibujo técnico	750	16	80	
Estación de trabajo CAD	500	19	80	Para trabajar en PVD, ver 4.10
Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	La iluminación debiera ser controlable (regulable)
Puesto (carpeta) de recepción	300	22	80	
Lugar de archivos	200	25	80	
23. VENTA AL DETALLE (al por menor)				

Figura 9: Extracto para oficinas de tabla de punto 5 de la norma INTE/ISO 89995-1:2016.
Fuente: INTECO (2016).

3.4. Análisis de sostenibilidad

Para introducir este tema empezamos por definir el concepto de sostenibilidad que establece la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1998) “CMMAD”, citado por Macedo (2005) de la siguiente forma: “El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”

Sánchez (2009) utilizando como fuente a WCED (1987) nos explica que el concepto de sostenibilidad se inició básicamente como un concepto académico de las ciencias económicas, pero que en el año 1987 se suscitó un debate con respecto al término desarrollo sostenible por medio de la publicación titulada “Nuestro Futuro Común” desarrollado por la Comisión de las Naciones Unidas para el Medioambiente y el Desarrollo “WECD” (del inglés World Commission on Environment and Development) presidido por la noruega Gro Harlem Brundtland, y por esto más adelante a este documento se le conocería como Informe Brundtland. Según Sánchez el precedente que estableció el Informe Brundtland fue marcar un punto de inflexión en la institucionalización del concepto, y consecuentemente fue trasladado a la esfera política.

Menciona Sánchez (2009), citando a Martín-Palermo et al. (2004) que:

En el año 2001, como respuesta a la propuesta solicitada por el Consejo Europeo de Helsinki (1999), el Consejo Europeo de Gotemburgo (2001) aprueba la primera Estrategia de la UE para el Desarrollo Sostenible (EDS-UE). La EDS-UE de 2001 define 10 áreas de actuación prioritaria en materia de desarrollo sostenible en Europa: (a) Desarrollo económico; (b) Pobreza y exclusión social; (c) Envejecimiento de la sociedad; (d) Salud pública; (e) Cambio climático y energía; (f) Gestión de recursos naturales; (g) Transporte; (h) Producción y consumo sostenibles; (i) Cooperación internacional y (j) Gobierno. (p.13)

Sánchez (2009) recalca que el concepto de desarrollo sostenible al ser un concepto donde impera lo subjetivo, lo intangible, lo humanístico, entre otros; con aportaciones de las áreas económicas, ecológicas, sociales, etc; produce una dificultad de ofrecer un planteo único y universal de su concepto.

Douglass (1984), Yunlong y Smit (1994) citados por Sánchez (2009) sostiene que “Frente a dicha ambigüedad, existe un consenso generalizado en adoptar una perspectiva eminentemente pragmática, que opta por abordar el análisis de la sostenibilidad descomponiendo el concepto en componentes o dimensiones (ecológica, económica, política, cultural, social, espacial, etc.) con el fin último de facilitar su evaluación y análisis” (p.20)

Sánchez (2009) citando a Bell y Morse (2008) indica que:

Muchas de las interpretaciones referentes al desarrollo sostenible coinciden en que las políticas y acciones para lograr el crecimiento económico deben de respetar el medio ambiente y además ser socialmente equitativas para alcanzar el desarrollo económico. En este sentido, destaca el esquema de los tres pilares del desarrollo sostenible (véase figura 10) propuesto por Munasinghe (1993), que distingue entre sostenibilidad medioambiental

(uso responsable de los recursos naturales), económica (eficiencia económica) y social (cohesión y progreso social compartido). El esquema de la triple dimensión de la sostenibilidad ha sido largamente empleado y difundido a partir de mediados de los años 90, tras la definición de desarrollo sostenible propuesta por Brundtland y la consiguiente creciente incorporación del término al vocabulario de los planificadores y encargados de elaborar políticas públicas. La gran ventaja de descomponer la sostenibilidad en dimensiones consiste en permitir su desarrollo operativo (evaluación y análisis), utilizando para ello sistemas de indicadores que abarquen cada una de las dimensiones contempladas”

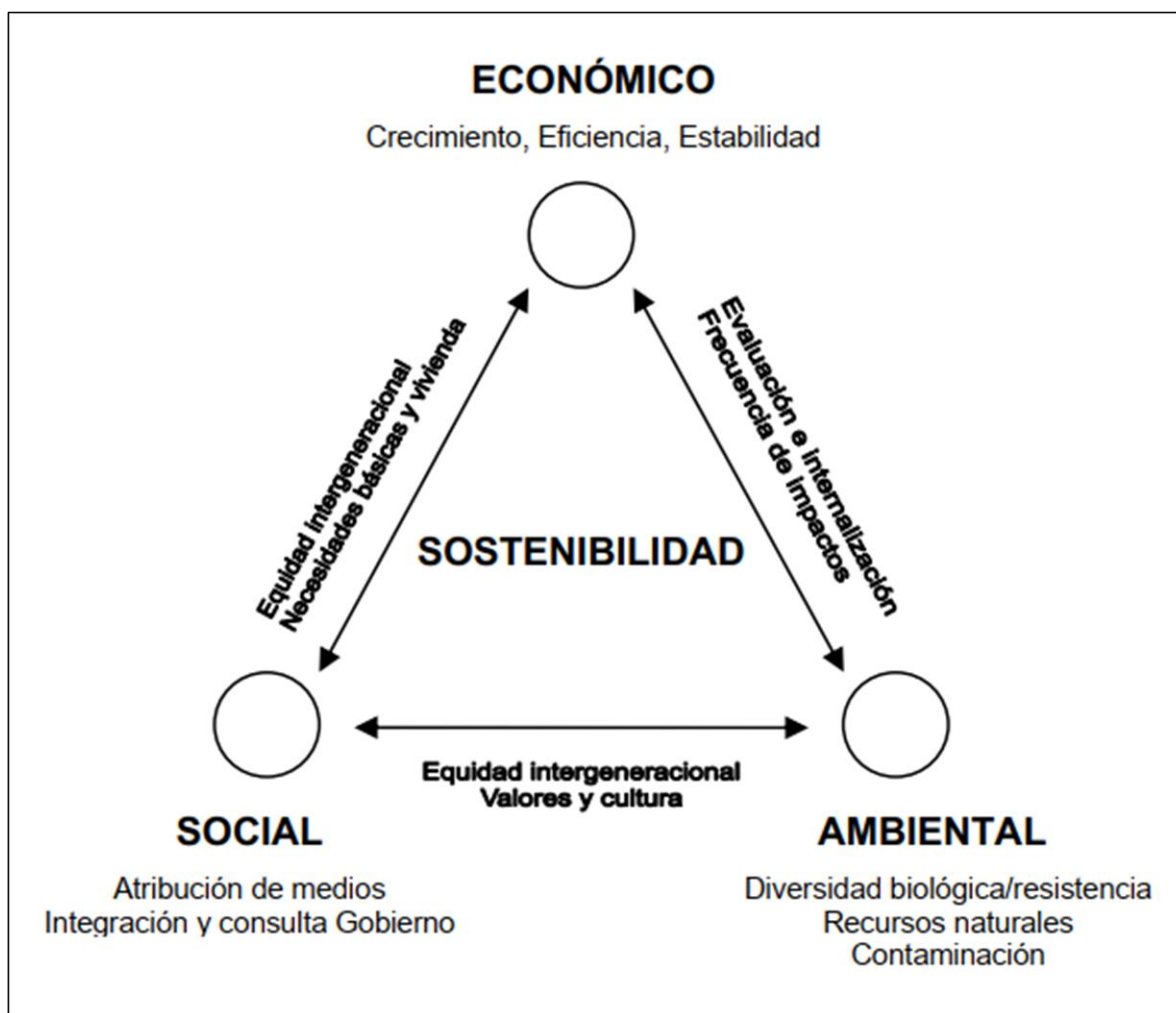


Figura 10: Triángulo de la sostenibilidad.

Fuente: Sánchez (2016) adaptado de Munasinghe (1993).

3.4.1. Indicadores ambientales

Ropero (2020) define como indicador ambiental “una medida que puede ser de origen físico, químico, biológico, social o económico que permite evaluar toda aquella información ambiental disponible con el fin de reflejar las condiciones en las que se encuentra el medio ambiente o un factor ambiental particular, en un tiempo y en un lugar determinados” (párr.3)

Agrega Ropero (2020) que los indicadores ambientales “pueden ser cuantitativos o cualitativos dependiendo de cómo son medido y apreciado. Los indicadores ambientales cuantitativos se basan en parámetros con los que dar información sobre un fenómeno. En cambio, los indicadores ambientales cualitativos se centran más en las observaciones y percepciones.” (párr.4)

Algunas características de los indicadores ambientales mencionadas por Ropero (2020) son:

- Deben evaluar datos de calidad y fiables.
- Ser fáciles de manejar y comprender.
- Que puedan predecir si habrá alguna evolución negativa.
- Su coste debe estar equilibrado con su efectividad.
- Ser sensibles a los cambios.
- Ser específicos con el objetivo de que no se den diferentes interpretaciones.

Algunos ejemplos de indicadores ambientales citados por Ropero (2020) son:

- Índice de bienestar económico sostenible (IBES).
- Índice de desarrollo humano (IDH).
- Índice de sostenibilidad ambiental (ISA)
- Índice de desempeño ambiental (EPI).
- Índice global de economía verde (GGEI).
- Huella ecológica (HE).
- Índice de planeta vivo (LPI).
- Huella de carbono.
- Huella hídrica.

Es este trabajo nos vamos a centrar únicamente en el análisis de huella de carbono y por lo tanto solo detallaremos este indicador ambiental.

3.4.1.1. Huella de carbono

Espíndola y Valderrama (2012) definen La Huella de Carbono (HdC) citando a Pandey et al (2010) y Wiedmann (2009) como “la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, y es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de dichos gases. Los GEI, definidos en el protocolo de Kioto el año 1997, forman una capa permanente en la parte media de la atmósfera que impide que toda la radiación solar que es devuelta por la tierra pueda salir, provocando con ello que la temperatura bajo la capa aumente” (párr.3)

Gases de efecto invernadero

Espíndola et al. (2012) citando a Bolin et al. (1986) indica que: “el efecto invernadero se origina porque la energía que llega del sol está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera, sin mucha resistencia. La energía remitida hacia el exterior, desde la Tierra está formada por ondas de frecuencias más bajas, y es absorbida por los gases, produciendo el efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura aumente. En forma simple el efecto invernadero provoca que la energía que llega a la Tierra sea devuelta más lentamente, por lo que es mantenida más tiempo junto a la superficie elevando la temperatura” (párr.7) Agregan

Espíndola et al. (2012) que “El rápido incremento de la temperatura global es producto del “efecto invernadero”, debido a la liberación de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico a la atmósfera. No todos los GEI tienen la misma capacidad de provocar calentamiento global, pero su intensidad depende de su poder de radiación y el tiempo promedio que la molécula del gas permanece en la atmósfera. Si estos dos factores se consideran juntos, al promedio de calentamiento que pueden causar, se le conoce como Potencial de Calentamiento Global o PCG por sus siglas en inglés, el cual es obtenido matemáticamente y es expresado en relación con el nivel de (CO₂), es decir, el PCG tiene por unidad al dióxido de carbono equivalente (CO₂ -e)”

3.4.2. Análisis de ciclo de vida

Usón, A., Usón, J. y Bribián (2010) argumentan que:

Con el objetivo de alcanzar la sostenibilidad, la eficiencia energética debe ser integrada dentro de un panorama más amplio de Ecología Industrial, complementándose con el uso de herramientas que permitan considerar todo el proceso en global: de este modo, las empresas podrán encontrar maneras innovadoras para ser rentables y abarcar dimensiones ambientales y sociales; en otras palabras, introducir el «Pensamiento de Ciclo de Vida de producto» o *Life Cycle Thinking*.

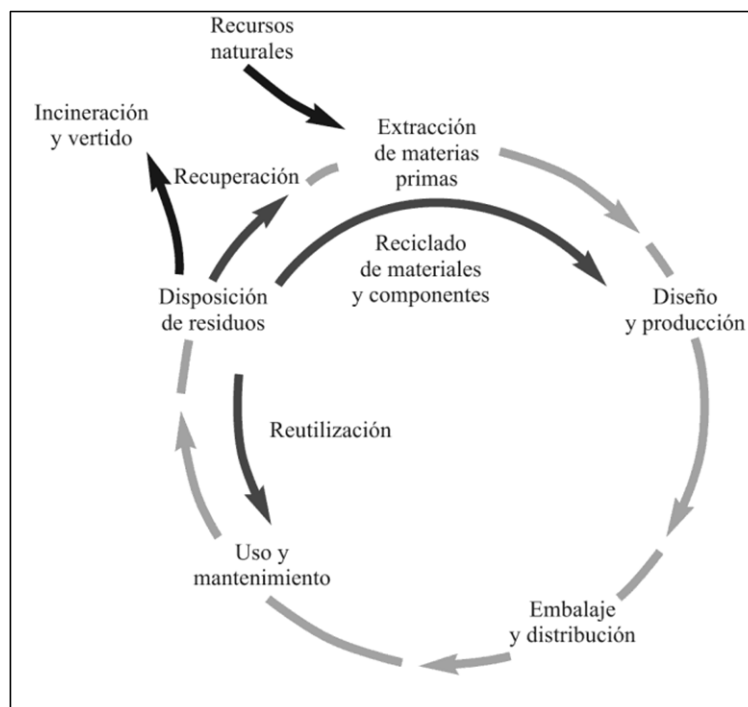


Figura 11: Ciclo de vida de un producto.

Fuente: Usón et al. (2010) tomado de United Nations Environment Programme (2007).

El «Pensamiento de Ciclo de Vida de Producto» es esencial para el desarrollo sostenible. Va más allá del enfoque tradicional sobre la producción y los procesos de manufactura de productos (bienes y servicios), incluyendo aspectos medioambientales, sociales y económicos durante todo su ciclo de vida. De este modo es posible mejorar el rendimiento

en todas las etapas del ciclo de vida del producto, considerando todo el proceso de manera global, como se muestra en la figura 11.

El «Pensamiento de Ciclo de Vida de Producto» tiene como objetivos principales la reducción en el uso de recursos y las emisiones al medio ambiente durante todo el ciclo de vida de un producto, añadiendo principios de sostenibilidad y lo que se llama «la filosofía 6 RE»:

RE-pensar el producto y sus funciones.

RE-parar. Hacer que un producto sea fácil de reparar, por ejemplo mediante piezas que puedan ser fácilmente cambiadas.

RE-emplazar sustancias dañinas por alternativas más seguras.

RE-usar. Diseñar los productos de forma que sus piezas puedan ser reutilizables.

RE-ducir energía, emisiones, consumo de materiales e impactos socioeconómicos durante todo el ciclo de vida.

RE-ciclar. Seleccionar materiales que se puedan reciclar.

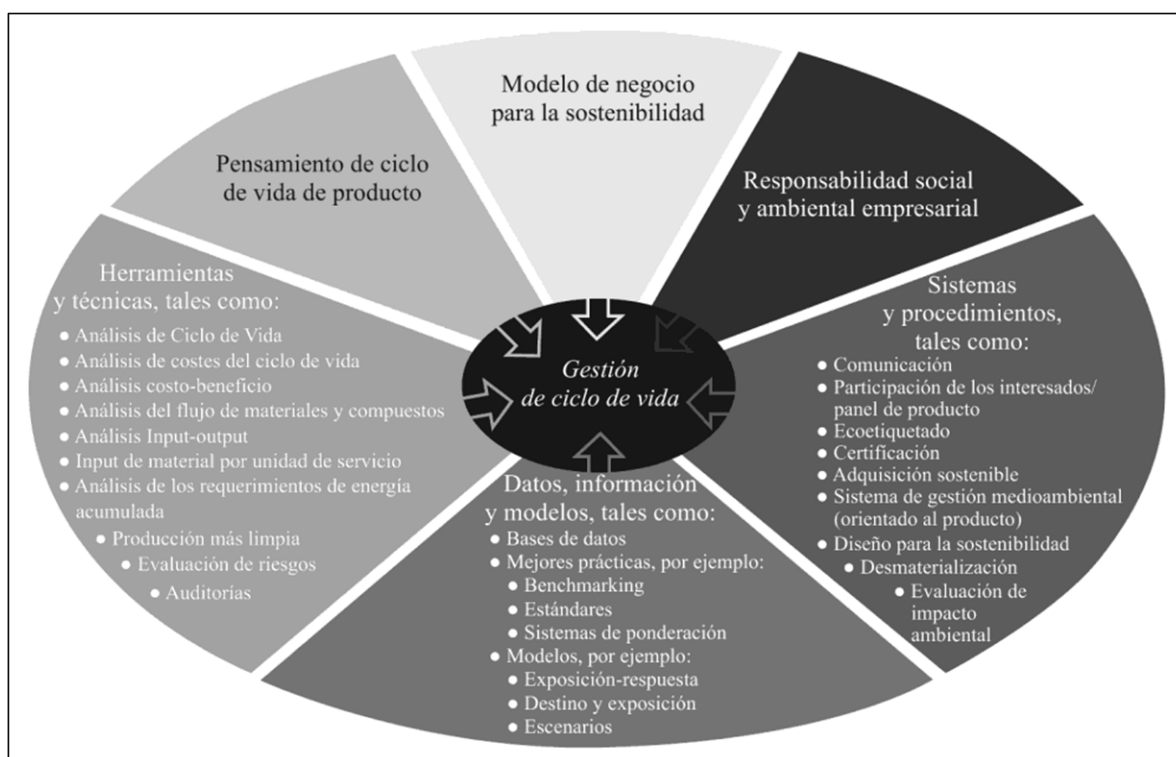


Figura 12: Gestión de ciclo de vida.

Fuente: Usón et al. (2010) tomado de United Nations Environment Programme (2007).

Este enfoque forma parte de la «Gestión de Ciclo de Vida» o *life cycle management* que es un marco para analizar y gestionar el rendimiento de la sostenibilidad de los bienes y servicios. Permite hacer operacional para las empresas el «Pensamiento de Ciclo de vida»

y la sostenibilidad de un producto a través de la mejora de los sistemas y la incorporación de políticas íntegras de productos. (pp.16-18)

Normativa de huella de Carbono en Costa Rica

En Costa Rica podemos encontrar en el Sistema Costarricense de Información Jurídica “SCIJ” (2021) el “Acuerdo – 36 - 2012 - MINAET” el cual declara el Ministerio de Ambiente, energía y Telecomunicaciones:

1°. Que el país ha ratificado la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto.

2°. Que nuestro país ha asumido el compromiso de participar en los esfuerzos de fortalecer el régimen establecido por la CMNUCC y su Protocolo de Kyoto, a fin de contribuir a garantizar una respuesta global y oportuna, con base en la información aportada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y sobre la base de los principios que rigen la CMNUCC.

3°. Que el tema del cambio climático es un eje transversal en el trabajo que desarrollan los diferentes sectores, los cuales involucran programas e instancias de la Administración Pública, que requieren coordinación para direccionar las acciones bajo una visión de país.

4°. Que Costa Rica ha tenido un rol relevante y de liderazgo en materia ambiental debido a la importancia y la trascendencia de nuestra visión de país; además de las obligaciones contraídas a nivel internacional, lo cual incluye la necesidad urgente de establecer medidas para proteger los ecosistemas más vulnerables contra los efectos del cambio climático.

5°. Que el cambio climático y sus componentes de mitigación y adaptación son ejes transversales a toda la economía y la sociedad y fundamentales para un desarrollo eco-competitivo bajo en emisiones.

6°. Que los futuros acuerdos sobre cambio climático llevarán aparejada la definición de un nuevo rumbo para la economía global, dados los compromisos que habrán de asumir todos los países indistintamente de su grado de desarrollo para convertirse en economías bajas en emisiones de gases de efecto invernadero, con implicaciones en el comercio que permitan diversificar aún más la oferta de bienes y servicios costarricenses.

7°. Que el Acuerdo de Consejo de Gobierno 2007-2010 inscrito en el Acta No 56 del 1 de agosto del 2007, vigente a la fecha, solicita a todas las instituciones públicas, e insta a los gobiernos locales e instituciones autónomas, elaborar y poner en ejecución un Plan de Acción de corto, mediano y largo plazo con metas claras que contemple los cinco ejes de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, asignando al Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones el papel de entidad coordinadora y de seguimiento a todos los esfuerzos.

8°. Que el Ministro de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones ejerce la rectoría política en materia ambiental y lo correspondiente a los temas relativos al cambio climático; por lo que podrá en el ejercicio de sus funciones, ordenar las actividades del Comité Técnico

Interministerial de Cambio Climático, establecido en el Reglamento Orgánico Institucional, como órgano para el seguimiento del cambio climático y la mitigación y adaptación a sus efectos.

9°. Que el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones ha definido como año base para el cálculo de Carbono Neutralidad país el año 2005.

10°. Que Costa Rica realiza inventarios nacionales de gases efecto invernadero, cuenta con factores de emisión nacionales, dispone de un Sistema Nacional de Calidad que ampara la norma país que especifica los requisitos para las organizaciones interesadas en establecer un sistema de gestión para demostrar la C-Neutralidad.

11°. Que el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones cuenta con la marca registrada en el Registro de Propiedad Industrial, C - Neutral.

Por tanto, acuerda:

OFICIALIZAR EL PROGRAMA PAÍS CARBONO NEUTRALIDAD

Esta ley entró en rigor desde mayo del 2012 y se encuentra en vigencia a la fechas del estudio que se realizó.

3.5.Costo de adquisición

Huamán y Solórzano (2019) citando a Orihuela (2015) indican que “el costo de adquisición de los inventarios comprenderá: El precio de compra, los aranceles de importación y otros impuestos (que no sean recuperables posteriormente de las autoridades fiscales), transporte, manejo y otros costos directamente atribuibles a la adquisición de mercaderías, materiales y servicios. Los descuentos comerciales, las rebajas y otras partidas similares se deducirán para determinar el costo de adquisición” (p.19)

Capítulo IV: Metodología

Para el diseño industrial de la iluminación fluorescente se escogió los modelos: LED 150 con 2 fluorescentes compactos de 32 watts, el modelo 705-EO T8-48-2-32W con 2 tubos fluorescentes tipo T8 de 32 watts, el modelo 705-EO T8-48-3-32W con 3 tubos fluorescentes tipo T8 de 32 watts y el modelo 725-EP T5-48-6-54W con 6 tubos fluorescentes tipo T5 de 54 watts de la marca Sylvania.

En el caso del diseño industrial de la iluminación LED se escogió los modelos: LED PANEL RD 9W DL 100-240V de 9 watts, el modelo SYL LIGHTER 15W de 15 watts, el modelo 705 LED-48-2-25W con 2 barras LED de 25 watts, el modelo 705 LED-48-2-40W con 2 barras LED de 40 watts y el modelo LED HIGHBAY 100W CW GC350 DIM de 100 watts de la marca Sylvania.

Para el diseño de oficinas de la iluminación fluorescente se escogió los modelos: LED 150 con 2 fluorescentes compactos (CFL) de 32 watts, el modelo 705-EO T8-48-2-32W con 2 tubos fluorescentes tipo T8 de 32 watts y el modelo 705-EO T8-48-3-32W con 3 tubos fluorescentes tipo T8 de 32 watts de la marca Sylvania.

En el caso del diseño de oficinas de la iluminación LED se escogió los modelos: SYL LIGHTER 15W de 15 watts, el modelo 705 LED-48-2-25W con 2 barras LED de 25 watts, el modelo 705 LED-48-2-40W con 2 barras LED de 40 watts y el modelo 705 LED-48-4-50W con 4 barras LED de 40 watts de la marca Sylvania.

Se utilizó estos modelos por su gran capacidad de iluminación, bajo costo económico, por su capacidad de operar a bajas temperaturas y su grado de hermeticidad; además de que estos modelos son de muy alta difusión, siendo Sylvania una de las marcas de mayor ventas de luminarias en el Costa Rica.

Tomando como consideración inicial para el diseño los valores de iluminación recomendados por INTECO (2016), se tiene las figuras 14, 15 y 16.

Donde:

- La primera columna (de izquierda a derecha) muestra la lista de interiores (áreas) tareas o actividades.
- La segunda columna (E_m lux) muestra la iluminancia media mínima sobre la superficie indicada en la primera columna.
- La tercera columna (CUD_L) muestra el límite de deslumbramiento de las áreas indicadas en la primera columna.
- La cuarta columna (R_a) muestra el índice mínimo de rendimiento de color para las áreas indicadas en la primera columna.
- La quinta columna muestra las observaciones para las áreas indicadas en la primera columna.

Tipo de interior, tarea o actividad	E_m lux	CUD_L	R_a	Observaciones
1. AREAS GENERALES DE EDIFICACIONES				
Vestíbulos de entrada	100	22	60	
Salas de estar	200	22	80	
Áreas de circulación y pasillos	100	28	40	En las salidas y entradas proporcionar una zona de transición y evitar cambios súbitos
Escaleras, escaleras mecánicas y bandas transportadoras (de personas)	150	25	40	
Rampas/zonas de carga	150	25	40	
Comedores	200	22	80	
Áreas de descanso	100	22	80	
Salas para ejercicios físicos	300	22	80	
Guardarropas, cuartos de aseo, baños, tocadores	200	25	80	
Enfermerías	500	19	80	
Sala de atención médica	500	16	90	T_{cp} 4 000 k, como mínimo
Cuartos técnicos (industrias), cuartos de equipos eléctricos	200	25	60	
Cuarto de correspondencia, tablero de interruptores.	500	19	80	
Almacén, cuartos de mercancías, almacén refrigerado	100	25	60	200 lux si están ocupados continuamente

Figura 14: Extracto de tabla para áreas generales de punto 5 de la norma INTE/ISO 89995-1:2016.

Fuente: INTECO (2016).

Tipo de interior, tarea o actividad	E_m lux	CUD_L	R_a	Observaciones
Control de calidad	1 000	19	90	T_{cp} 4 000 K, como mínimo
22. OFICINAS				
Archivado, copiado, circulación, entre otros.	300	19	80	
Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos	500	19	80	Para trabajar en PVD, ver 4.10
Dibujo técnico	750	16	80	
Estación de trabajo CAD	500	19	80	Para trabajar en PVD, ver 4.10
Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	La iluminación debiera ser controlable (regulable)
Puesto (carpeta) de recepción	300	22	80	
Lugar de archivos	200	25	80	

Figura 15: Extracto de tabla para oficinas de punto 5 de la norma INTE/ISO 89995-1:2016.

Fuente: INTECO (2016).

Tipo de interior, tarea o actividad	E_{mlux}	CUD_L	R_a	Observaciones
8. INDUSTRIA ALIMENTICIA				
Lugares y zonas de trabajo en cervecerías (preparación de bebidas), piso de germinación de malta, lavado, llenado de barriles, limpieza, cernido (cribado), peladura, cocinado en fábricas de conservas y chocolates, lugares y zonas de trabajo en fábricas de azúcar, secado y curado de tabaco en hoja, toneles (bodegas) de fermentación	200	25	80	
Clasificación y lavado de productos, molienda, mezclado y empaque	300	25	80	
Lugares y zonas de trabajo en mataderos, carnicerías, procesadoras de lácteos, área de filtrado, refinerías de azúcar	500	25	80	
Corte y clasificación de frutas y vegetales	300	25	80	
Fabricación de alimentos selectos, cocinas	500	22	80	
Fabricación de tabacos y cigarrillos	500	22	80	
Inspección de envases y botellas, control de productos, decoración	500	22	80	
Laboratorios	500	19	80	
Inspección de colores	1 000	16	90	Tcp 4 000 K, como mínimo

Figura 16: Extracto de tabla para industria alimenticia de punto 5 de la norma INTE/ISO 89995-1:2016.

Fuente: INTECO (2016).

Se consideraron los valores de la figura 16, pues el edificio considerado para el diseño industrial se trata de una planta de empaque de piña; para las oficinas se consideraron los valores de la figura 15 y para las áreas comunes se consideraron los valores de la figura 14.

Área	E_m lux	Área	E_m lux
Andenes de carga 1, 2 y 3	150	Tunel frío 2	100
Andenes de carga 4, 5 y 6	150	Tunel frío 3	100
Empaque y entarimado	300	Tunel frío 4	100
Rechazo de fruta	300	Tunel frío 5	100
Recibo y selección	300	Tunel frío 6	100
Bodega cartón 1	100	Tunel frío 7	100
Bodega cartón 2	100	Tunel frío 8	100
Bodega ceras 1	100	Tunel frío 9	100
Bodega ceras 2	100	Ventanilla	100
Bodega tarimas	100	Mezzanine bodega de cartón 1	100
Bodega general de suministros	100	Mezzanine bodega de cartón 2	100
Bodega equipo de trabajo	100	Baño discapacitados 1	200
Camara enfriamiento 1	100	Baño discapacitados 2	200
Camara enfriamiento 2	100	Ducha hombres	200
Cuarto baterías	200	Ducha mujeres	200
Laboratorio	500	Lavandería y bodega	100
Oficina 1	300	Pasillo principal y lavamanos	100
Pasillo anden de carga	100	Pasillo y lavamanos hombres	100
Pasillo túneles fríos 1-4	100	Pasillo y lavamanos mujeres	100
Pasillo túneles fríos 5-9	100	Sanitario hombres	200
Pediluvio 1	100	Sanitario mujeres	200
Pediluvio 2	100	Vestidor hombres	200
Pediluvio 3	100	Vestidor mujeres	200
Tunel frío 1	100	Cuarto de máquinas	200

Figura 17: Tabla de áreas del diseño industrial.

Fuente: Propia.

Para los diseños de iluminación de ambos casos (industrial y oficinas) se procedió a realizar el levantamiento de los edificios, objetos y todos los muebles en el programa Dialux, obteniendo las áreas mostradas en las Figuras 17 y 18. Estas figuras indican el valor mínimo de iluminancia media tomado de la norma INTECO (2016). Estas tablas se utilizaron como base para las tablas de las Figuras 22, 23, 24 y 25.

Área	E_m lux	Área	E_m lux
Archivo 1	200	Oficina 03	500
Archivo 2	200	Oficina 04	500
Archivo 3	200	Oficina 05	500
Archivo 4	200	Oficina 06	500
Bodega de aseo	200	Oficina 07	500
Cambiador de pañales 1	200	Oficina 08	500
Cambiador de pañales 2	200	Oficina 09	500
Circulación 1 y vestíbulo	100	Oficina 10	500
Circulación 2	100	Oficina 11	500
Circulación 3	100	Recepción	300
Circulación 4	100	Sala espera 1	200
Circulación 5	100	Sala espera 2	200
Comedor	200	Sala espera 3	200
Cuarto aseo	200	Sala espera 4	200
Cuarto tableros	200	Sala fotocopiado 1	300
Cuarto telemática	200	Sala fotocopiado 2	300
Cuarto testigos 1	500	Sala juicios 1	500
Cuarto testigos 2	500	Sala juicios 2	500
Cubículos 1	500	SS personal hombres	200
Cubículos 2	500	SS personal mujeres	200
Cubículos 3	500	SS personal mujeres discap.	200
Cubículos 4	500	SS1 discapacitados 1	200
Cubículos 5	500	SS1 discapacitados 2	200
Cubículos 6	500	SS1 hombres	200
Cubículos 7	500	SS1 mingitorio	200
Cubículos 8	500	SS1 mujeres	200
Enfermería	500	SS2 hombres	200
Lactancia	200	SS2 mujeres	200
Oficina 01	500	Vestíbulo sanitarios	100
Oficina 02	500		

Figura 18: Tabla de áreas del diseño de oficinas.

Fuente: Propia.

Considerando los precios unitarios sugeridos por el fabricante de las luminarias escogidas se tienen los valores indicados en la figura 19. El precio unitario indicado incluye el impuesto de valor agregado y todos los accesorios requeridos (balastos, fluorescentes, difusores, etc).

Tecnología	Modelo	Precio unitario
LED	LED PANEL RD 9W	€3 206,54
	SYL LIGHTER 15W	€20 152,86
	705 LED 48 2 25W	€86 059,08
	705 LED 48 2 40W	€96 014,18
	705 LED 48 4 50W	€117 992,09
	LED HIGHBAY 100W	€77 485,70
Fluorescente	LED 150 2xCFL 32W	€32 086,35
	705 EO T8 48 2 32W	€65 760,79
	705 EO T8 48 3 32W	€71 157,96
	725 EP T5 48 6 54W	€201 123,05

Figura 19: Tabla de precios unitarios de luminarias.

Fuente: Propia.

Para el cálculo de la eficiencia luminosa se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia (lm/W)} = \text{Potencia (watts)} / \text{Flujo luminoso (lúmenes)}$$

De este modo en la figura 20 se muestra la compilación de los valores de eficiencia obtenidos para cada modelo de luminaria.

Tecnología	Modelo luminaria	Flujo luminoso (lm)	Potencia (W)	Eficiencia (lm/W)
Led	LED PANEL RD 9W	533	8,6	61,98
	SYL LIGHTER 15W	1182	15,4	76,75
	705 LED 48 2 25W	3418	25	136,72
	705 LED 48 2 40W	5592	40	139,80
	705 LED 48 4 50W	7416	50	148,32
	LED HIGHBAY 100W	15220	101	150,69
Fluorescente	LED 150 2XCFL32W	2739	74	37,01
	705 EO T8 48 2 32W	4800	64	75,00
	705 EO T8 48 3 32W	6121	105	58,30
	725 EP T5 48 6 54W	26847	326	82,35

Figura 20: Cálculo de eficiencia de cada modelo de luminaria.

Fuente: Recopilación propia de datos luminotécnicos indicados por fabricante en los documentos técnicos de diseño.

En la Figura 21 se aprecia los valores de las emisiones de los gases de efecto invernadero por adquisición según la tecnología de iluminación (led o fluorescente) utilizada por unidad.

	Fluorescente	Led
Manufactura	8,99 kg CO ₂ e	12,50 kg CO ₂ e
Transporte	0,226 kg CO ₂ e	0,212 kg CO ₂ e
Fin de la vida útil	0,0284 kg CO ₂ e	0,015 kg CO ₂ e
Total	9,2444 kg CO₂e	12,727 kg CO₂e

Figura 21: Extracto de emisiones de gases de efecto invernadero.

Fuente: Lixi Liu et al 2017 Environ. Lett. 12 114034.

Capítulo V: Análisis de resultados

De acuerdo a los valores obtenidos en el programa dialux se tienen las figuras 22, 23, 24 y 25; donde se detalla:

- En la primera columna (**Área**): el área determinada en el plano del programa dialux.
- En la segunda columna (**Lx**): el valor promedio obtenido de la distribución de luminarias en el área indicada en la primera columna.
- En la tercera columna (**Lx min**): el valor de los luxes mantenidos mínimos recomendados por INTECO (2016); de acuerdo a lo visto en la figura 17; correspondiente a las áreas indicadas en la primera columna.
- En la cuarta columna (**H**): la altura (en metros) desde el piso, de montaje de la luminaria en el área indicada en la primera columna.
- En la quinta columna (**Modelo**): el modelo de la luminaria utilizada para el área indicada en la primera columna.
- En la sexta columna (**C**): la cantidad de luminarias utilizadas del modelo indicado en la quinta columna para el área descrita en la primera columna.

Área	Lx	Lx min	H	Modelo	C
Andenes de carga 1, 2 y 3	178	150	5	705 LED 48 2 40W	8
Andenes de carga 4, 5 y 6	176	150	5	705 LED 48 2 40W	8
Empaque y entarimado	312	300	5	705 LED 48 2 40W	151
Rechazo de fruta	363	300	5	LED HIGHBAY 100W	12
Recibo y selección	313	300	5	LED HIGHBAY 100W	45
Bodega cartón 1	104	100	5	705 LED 48 2 25W	14
Bodega cartón 2	104	100	5	705 LED 48 2 25W	24
Bodega ceras 1	130	100	3	705 LED 48 2 25W	1
Bodega ceras 2	129	100	3	705 LED 48 2 25W	1
Bodega tarimas	133	100	5	705 LED 48 2 40W	8
Bodega general de suministros	143	100	5	705 LED 48 2 40W	6
Bodega equipo de trabajo	126	100	4,5	705 LED 48 2 25W	11
Cámara enfriamiento 1	122	100	5	705 LED 48 2 25W	16
Cámara enfriamiento 2	122	100	5	705 LED 48 2 25W	16
Cuarto baterías	220	200	3	705 LED 48 2 25W	4
Laboratorio	568	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 1	336	300	3	SYL LIGHTER 15W	6
Pasillo anden de carga	117	100	4	705 LED 48 2 25W	7
Pasillo túneles fríos 1-4	114	100	2,8	705 LED 48 2 25W	4
Pasillo túneles fríos 5-9	120	100	5	705 LED 48 2 25W	6
Pediluvio 1	161	100	3	SYL LIGHTER 15W	2
Pediluvio 2	173	100	3	SYL LIGHTER 15W	2
Pediluvio 3	184	100	3	SYL LIGHTER 15W	2
Túnel frío 1	155	100	2,8	705 LED 48 2 40W	4
Túnel frío 2	152	100	2,8	705 LED 48 2 40W	4
Túnel frío 3	161	100	2,8	705 LED 48 2 40W	4

Túnel frío 4	155	100	2,8	705 LED 48 2 40W	4
Túnel frío 5	102	100	2,8	705 LED 48 2 25W	4
Túnel frío 6	100	100	2,8	705 LED 48 2 25W	4
Túnel frío 7	119	100	2,8	705 LED 48 2 25W	4
Túnel frío 8	108	100	2,8	705 LED 48 2 25W	4
Túnel frío 9	102	100	2,8	705 LED 48 2 25W	4
Ventanilla	138	100	2,5	705 LED 48 2 40W	2
Mezzanine bodega de cartón 1	144	100	4,2	705 LED 48 2 25W	60
Mezzanine bodega de cartón 2	113	100	4,2	705 LED 48 2 25W	24
Baño discapacitados 1	236	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	1
Baño discapacitados 2	215	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	1
Ducha hombres	490	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	1
Ducha mujeres	485	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	1
Lavandería y bodega	121	100	2,5	SYL LIGHTER 15W	2
Pasillo principal y lavamanos	159	100	2,5	SYL LIGHTER 15W	3
Pasillo y lavamanos hombres	131	100	2,5	LED PANEL RD 9W	4
Pasillo y lavamanos mujeres	130	100	2,5	LED PANEL RD 9W	4
Sanitario hombres	210	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	4
Sanitario mujeres	209	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	4
Vestidor hombres	210	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	3
Vestidor mujeres	209	200	2,5	SYL LIGHTER 15W	3
Cuarto de máquinas	227	200	5	705 LED 48 2 40W	20

Figura 22: Tabla valores diseño iluminación industrial en tecnología LED.

Fuente: Propia.

Área	LX	Lx min	H	Modelo	C
Andenes de carga 1, 2 y 3	155	150	5	705 EO T8 48 2 32W	5
				705 EO T8 48 3 32W	3
Andenes de carga 4, 5 y 6	154	150	5	705 EO T8 48 2 32W	5
				705 EO T8 48 3 32W	3
Empaque y entarimado	302	300	5	705 EO T8 48 3 32W	136
Rechazo de fruta	389	300	5	725 EP T5 48 6 54W	9
Recibo y selección	310	300	5	725 EP T5 48 6 54W	28
Bodega cartón 1	120	100	5	705 EO T8 48 3 32W	14
Bodega cartón 2	117	100	5	705 EO T8 48 3 32W	15
Bodega ceras 1	163	100	3	705 EO T8 48 2 32W	1
Bodega ceras 2	164	100	3	705 EO T8 48 2 32W	1
Bodega tarimas	107	100	5	705 EO T8 48 3 32W	6
Bodega general de suministros	105	100	5	705 EO T8 48 3 32W	4
Bodega equipo de trabajo	120	100	4,5	705 EO T8 48 3 32W	6
Cámara enfriamiento 1	123	100	5	705 EO T8 48 3 32W	9
Cámara enfriamiento 2	122	100	5	705 EO T8 48 3 32W	9
Cuarto baterías	205	200	3	705 EO T8 48 3 32W	2
Laboratorio	639	500	3	LED 150-2xCFL 32W	6

Oficina 1	338	300	3	705 EO T8 48 2 32W	2
Pasillo anden de carga	141	100	4	705 EO T8 48 3 32W	5
Pasillo túneles fríos 1-4	177	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Pasillo túneles fríos 5-9	123	100	5	705 EO T8 48 2 32W	5
Pediluvio 1	226	100	3	705 EO T8 48 2 32W	1
Pediluvio 2	237	100	3	705 EO T8 48 2 32W	1
Pediluvio 3	249	100	3	705 EO T8 48 2 32W	1
Túnel frío 1	141	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 2	138	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 3	148	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 4	142	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 5	150	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 6	147	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 7	180	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 8	160	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Túnel frío 9	151	100	2,8	705 EO T8 48 2 32W	4
Ventanilla	117	100	2,5	705 EO T8 48 3 32W LED 150-2xCFL 32W	1 1
Mezzanine bodega de cartón 1	138	100	4,2	705 EO T8 48 3 32W	33
Mezzanine bodega de cartón 2	128	100	4,2	705 EO T8 48 3 32W	15
Baño discapacitados 1	529	200	2,5	LED 150-2xCFL 32W	1
Baño discapacitados 2	480	200	2,5	LED 150-2xCFL 32W	1
Ducha hombres	1066	200	2,5	LED 150-2xCFL 32W	1
Ducha mujeres	1084	200	2,5	LED 150-2xCFL 32W	1
Lavandería y bodega	145	100	2,5	705 EO T8 48 2 32W	1
Pasillo principal y lavamanos	197	100	2,5	705 EO T8 48 2 32W	1
Pasillo y lavamanos hombres	281	100	2,5	705 EO T8 48 2 32W	1
Pasillo y lavamanos mujeres	287	100	2,5	705 EO T8 48 2 32W	1
Sanitario hombres	314	200	2,5	705 EO T8 48 2 32W LED 150-2xCFL 32W	1 1
Sanitario mujeres	280	200	2,5	705 EO T8 48 2 32W LED 150-2xCFL 32W	1 1
Vestidor hombres	380	200	2,5	705 EO T8 48 2 32W LED 150-2xCFL 32W	1 1
Vestidor mujeres	383	200	2,5	705 EO T8 48 2 32W LED 150-2xCFL 32W	1 1
Cuarto de máquinas	245	200	5	705 EO T8 48 3 32W	20

Figura 23: Tabla valores diseño iluminación industrial en tecnología Fluorescente.

Fuente: Propia.

Área	Lx	Lx min	H	Modelo	C
Archivo 1	221	200	3	705 LED 48 2 25W	1
Archivo 2	221	200	3	705 LED 48 2 25W	1
Archivo 3	280	200	3	705 LED 48 2 40W	1
Archivo 4	285	200	3	705 LED 48 2 40W	1
Bodega de aseo	228	200	3	SYL LIGHTER 15W	3
Cambiador de pañales 1	218	200	3	705 LED 48 2 25W	1
Cambiador de pañales 2	213	200	3	705 LED 48 2 25W	1
Circulación 1 y vestíbulo	234	100	3	705 LED 48 2 25W SYL LIGHTER 15W	21 2
Circulación 2	282	100	3	705 LED 48 2 25W SYL LIGHTER 15W	4 3
Circulación 3	263	100	3	705 LED 48 2 25W SYL LIGHTER 15W	4 5
Circulación 4	232	100	3	705 LED 48 2 25W	3
Circulación 5	238	100	3	705 LED 48 2 25W	3
Comedor	284	200	3	705 LED 48 2 25W	4
Cuarto aseo	243	200	3	SYL LIGHTER 15W	2
Cuarto tableros	295	200	3	705 LED 48 2 40W	1
Cuarto telemática	284	200	3	705 LED 48 2 25W	2
Cuarto testigos 1	627	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Cuarto testigos 2	628	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Cubículos 1	725	500	3	705 LED 48 2 40W	10
Cubículos 2	720	500	3	705 LED 48 2 40W	8
Cubículos 3	717	500	3	705 LED 48 2 40W	8
Cubículos 4	709	500	3	705 LED 48 2 40W	8
Cubículos 5	673	500	3	705 LED 48 2 40W	4
Cubículos 6	764	500	3	705 LED 48 2 40W	12
Cubículos 7	724	500	3	705 LED 48 2 40W	10
Cubículos 8	743	500	3	705 LED 48 2 40W	8
Enfermería	667	500	3	705 LED 48 2 40W	2
Lactancia	242	200	3	705 LED 48 2 25W	2
Oficina 01	601	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 02	601	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 03	597	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 04	601	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 05	602	500	3	705 LED 48 2 40W	4
Oficina 06	612	500	3	705 LED 48 2 40W	4
Oficina 07	610	500	3	705 LED 48 2 40W	4
Oficina 08	595	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 09	595	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 10	593	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Oficina 11	591	500	3	705 LED 48 2 40W	3
Recepción	368	300	3	705 LED 48 2 25W	2
Sala espera 1	290	200	3	705 LED 48 2 25W	2

Sala espera 2	281	200	3	705 LED 48 2 25W	2
Sala espera 3	257	200	3	705 LED 48 2 25W	2
Sala espera 4	208	200	3	705 LED 48 2 25W	3
Sala fotocopiado 1	426	300	3	705 LED 48 2 40W	2
Sala fotocopiado 2	422	300	3	705 LED 48 2 40W	2
Sala juicios 1	545	500	3	705 LED 48 4 50W	4
Sala juicios 2	542	500	3	706 LED 48 4 50W	4
SS ¹ personal hombres	224	200	3	705 LED 48 2 25W LED PANEL RD 9W	3 1
SS personal mujeres	218	200	3	705 LED 48 2 25W	2
SS personal mujeres discapacitados	202	200	3	SYL LIGHTER 15W	2
SS1 discapacitados 1	210	200	3	SYL LIGHTER 15W	2
SS1 discapacitados 2	211	200	3	SYL LIGHTER 15W	2
SS1 hombres	239	200	3	705 LED 48 2 25W	2
SS1 mingitorio	284	200	3	SYL LIGHTER 15W	2
SS1 mujeres	229	200	3	705 LED 48 2 25W	2
SS2 hombres	218	200	3	SYL LIGHTER 15W	2
SS2 mujeres	217	200	3	SYL LIGHTER 15W	2
Vestíbulo sanitarios	151	100	3	SYL LIGHTER 15W	3

Figura 24: Tabla valores diseño iluminación en oficinas en tecnología LED.

Fuente: Propia.

Área	Lx	Lx min	H	Modelo	C
Archivo 1	249	200	3	705-EO T8-48-2-32W	1
Archivo 2	250	200	3	705-EO T8-48-2-32W	1
Archivo 3	213	200	3	705-EO T8-48-2-32W	1
Archivo 4	216	200	3	705-EO T8-48-2-32W	1
Bodega de aseo	226	200	3	705-EO T8-48-2-32W	1
Cambiador de pañales 1	221	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
Cambiador de pañales 2	221	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
Circulación 1 y vestíbulo	236	100	3	LED 150-2xCFL 32W	23
Circulación 2	276	100	3	LED 150-2xCFL 32W	5
Circulación 3	268	100	3	LED 150-2xCFL 32W	6
Circulación 4	229	100	3	LED 150-2xCFL 32W	3
Circulación 5	244	100	3	LED 150-2xCFL 32W	3
Comedor	263	200	3	705-EO T8-48-3-32W	2
Cuarto aseo	292	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
Cuarto tableros	216	200	3	705-EO T8-48-2-32W	1
Cuarto telemática	259	200	3	705-EO T8-48-3-32W	1
Cuarto testigos 1	664	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Cuarto testigos 2	663	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Cubículos 1	641	500	3	LED 150-2xCFL 32W	15

¹ Servicio Sanitario

Cubículos 2	648	500	3	LED 150-2xCFL 32W	12
Cubículos 3	646	500	3	LED 150-2xCFL 32W	12
Cubículos 4	634	500	3	LED 150-2xCFL 32W	12
Cubículos 5	614	500	3	LED 150-2xCFL 32W	6
Cubículos 6	667	500	3	LED 150-2xCFL 32W	18
Cubículos 7	646	500	3	LED 150-2xCFL 32W	15
Cubículos 8	659	500	3	LED 150-2xCFL 32W	12
Enfermería	671	500	3	LED 150-2xCFL 32W	3
Lactancia	226	200	3	705-EO T8-48-3-32W	1
Oficina 01	632	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 02	631	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 03	634	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 04	634	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 05	502	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 06	515	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 07	513	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 08	627	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 09	631	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 10	631	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Oficina 11	625	500	3	705-EO T8-48-3-32W	3
Recepción	315	300	3	705-EO T8-48-3-32W	1
Sala espera 1	324	200	3	705-EO T8-48-2-32W	2
Sala espera 2	313	200	3	705-EO T8-48-2-32W	2
Sala espera 3	291	200	3	705-EO T8-48-2-32W	2
Sala espera 4	268	200	3	705-EO T8-48-2-32W	3
Sala fotocopiado 1	416	300	3	LED 150-2xCFL 32W	3
Sala fotocopiado 2	420	300	3	LED 150-2xCFL 32W	3
Sala juicios 1	647	500	3	705-EO T8-48-3-32W	6
Sala juicios 2	642	500	3	705-EO T8-48-3-32W	6
SS personal hombres	272	200	3	LED 150-2xCFL 32W	4
SS personal mujeres	234	200	3	LED 150-2xCFL 32W	2
SS personal mujeres discapacitados	239	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
SS1 discapacitados 1	251	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
SS1 discapacitados 2	252	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
SS1 hombres	270	200	3	LED 150-2xCFL 32W	2
SS1 mingitorio	315	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
SS1 mujeres	257	200	3	LED 150-2xCFL 32W	2
SS2 hombres	254	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
SS2 mujeres	258	200	3	LED 150-2xCFL 32W	1
Vestíbulo sanitarios	137	100	3	LED 150-2xCFL 32W	1

Figura 25: Tabla valores diseño iluminación en oficinas en tecnología Fluorescente.

Fuente: Propia.

En base a la figura 19 se realizó el cálculo de adquisición inicial de las luminarias escogidas para cada diseño, el cual se muestra en la figuras 26, 27, 28 y 29.

Modelo luminaria	Cantidad de luminarias	Costo unitario (colones)	Costo Total (colones)
LED PANEL RD 9W	8	₡ 3 206,54	₡ 25 652,36
SYL LIGHTER 15W	35	₡ 20 152,86	₡ 705 350,12
705 LED 48 2 25W	208	₡ 86 059,08	₡ 17 900 289,14
705 LED 48 2 40W	222	₡ 96 014,18	₡ 21 315 147,74
705 LED 48 4 50W	0	₡ 117 992,09	₡ 0
LED HIGHBAY 100W	57	₡ 77 485,70	₡ 4 416 685,16
TOTAL GENERAL			₡ 44 363 124,52

Figura 26: Costo de adquisición de luminarias para diseño industrial en tecnología led.

Fuente: Propia.

El costo total de adquisición de las luminarias para el diseño de iluminación industrial con tecnología led en cuestión es de 44 363 124,52 colones.

Modelo luminaria	Cantidad de luminarias	Costo unitario (colones)	Costo Total (colones)
LED 150 2X32W	15	₡ 32 086,35	₡ 481 295,25
705 EO T8 48 2 32W	70	₡ 65 760,79	₡ 4 603 255,35
705 EO T8 48 3 32W	281	₡ 71 157,96	₡ 19 995 388,02
705 EO T8 48 6 54W	37	₡ 201 123,05	₡ 7 441 552,85
TOTAL GENERAL			₡ 32 521 491,47

Figura 27: Costo de adquisición de luminarias para diseño industrial en tecnología fluorescente.

Fuente: Propia.

El costo total de adquisición de las luminarias para el diseño de iluminación industrial con tecnología led en cuestión es de 32 521 491,47 colones.

La diferencia de costo entre estos modelos es de:

$$₡ 44 363 124,52 - ₡ 32 521 491,47 = ₡ 11 841 633,05$$

Es decir que el costo adquisitivo de las luminarias led, para los diseños industriales, es un %36,41 más costoso que el costo adquisitivo de las luminarias fluorescentes.

Modelo luminaria	Cantidad de luminarias	Costo unitario (colones)	Costo Total (colones)
LED PANEL RD 9W	1	₡ 3 206,54	₡ 3 206,54
SYL LIGHTER 15W	30	₡ 20 152,86	₡ 604 585,82
705 LED 48 2 25W	67	₡ 86 059,08	₡ 5 765 958,52
705 LED 48 2 40W	119	₡ 96 014,18	₡ 11 425 687,30
705 LED 48 4 50W	8	₡ 117 992,09	₡ 943 936,73
LED HIGHBAY 100W	0	₡ 77 485,70	₡ -
TOTAL GENERAL			₡ 18 743 374,92

Figura 28: Costo de adquisición de luminarias para diseño de oficinas en tecnología led.

Fuente: Propia.

El costo total de adquisición de las luminarias para el diseño de iluminación de oficinas con tecnología led en cuestión es de 18 743 374,92 colones.

Modelo luminaria	Cantidad de luminarias	Costo unitario (colones)	Costo Total (colones)
LED 150 2X32W	171	₡ 32 086,35	₡ 5 486 765,85
705 EO T8 48 2 32W	15	₡ 65 760,79	₡ 986 411,86
705 EO T8 48 3 32W	56	₡ 71 157,96	₡ 3 984 846,01
705 EO T8 48 6 54W	0	₡ 201 123,05	₡ -
TOTAL GENERAL			₡ 10 458 023,72

Figura 29: Costo de adquisición de luminarias para diseño de oficinas en tecnología fluorescente.

Fuente: Propia.

El costo total de adquisición de las luminarias para el diseño de iluminación industrial con tecnología led en cuestión es de 32 521 491,47 colones.

La diferencia de costo entre estos modelos es de:

$$₡ 18 743 374,92 - ₡ 10 458 023,72 = ₡ 8 285 351,64$$

Es decir que el costo adquisitivo de las luminarias led, para los diseños de oficinas, es un %79,22 más costoso que el costo adquisitivo de las luminarias fluorescentes.

Pero además se debe comparar el costo incluyendo dentro del cálculo el consumo energético y la vida útil de las luminarias, para obtener los costos de operación de las luminarias, por tanto se realizó los cálculos a continuación.

Primeramente se partió de los valores de eficiencia obtenidos en la figura 20, utilizando el valor del costo del kilowatt-hora (kWh) de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos “ARESEP” en Costa Rica a la fecha de realización de los cálculos (30 de junio del 2021, considerando como empresa suplidora al Instituto Costarricense de Electricidad “ICE”) fue de 99,76 colones por cada kWh (₡/kWh). Con los valores mencionados se obtuvo el consumo unitario en colones por hora (₡/h) y en colones por año (₡/a) para cada unidad de luminaria indicada en la figura 30, por medio de la siguiente fórmula:

$$(\text{Eficiencia}^2 (\text{lm/W}) / \text{Costo energético (₡/kWh)})^{-1} * \text{Flujo luminoso (lm)} = \text{Consumo unitario hora (₡/h)}.$$

Para obtener el consumo unitario anual se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo unitario hora (₡/h)} * \text{horas del año (8760)} = \text{Consumo unitario año (₡/a)}.$$

² Se realizó una conversión para pasar de W a kW

Tecnología	Modelo luminaria	Eficiencia (lm/W)	Flujo luminoso (lm)	Consumo unitario hora (€/h)	Consumo unitario año (€/a)
Led	LED PANEL RD 9W	61,98	533	€0,86	€7 515,12
	SYL LIGHTER 15W	76,75	1182	€1,54	€13 458,59
	705 LED 48 2 25W	136,72	3418	€2,49	€21 847,44
	705 LED 48 2 40W	139,8	5592	€3,99	€34 955,90
	705 LED 48 4 50W	148,32	7416	€4,99	€43 694,88
	LED HIGHBAY 100W	150,69	15220	€10,08	€88 265,46
Fluorescente	LED 150 2 x CFL 32W	37,01	2739	€7,38	€64 674,56
	705 EO T8 48 2 32W	75,00	4800	€6,38	€55 929,45
	705 EO T8 48 3 32W	58,30	6121	€10,47	€91 751,75
	725 EP T5 48 6 54W	82,35	26847	€32,52	€284 900,17

Figura 30: Consumo unitario por modelo de luminaria.

Fuente: Propia.

Con los valores obtenidos en la figura 30 se calcula el consumo total por modelo de luminaria por hora y por año para cada diseño realizado de la siguiente forma:

Consumo unitario hora (€/h) * cantidad de luminarias = Consumo total del modelo de luminaria por hora (€/h).

O bien el cálculo anual se realizó de esta forma:

Consumo unitario año (€/a) * cantidad de luminarias = Consumo total del modelo de luminaria por año (€/a).

Se resume los valores obtenidos del cálculo indicados anteriormente en las figura 31 a 34, a continuación:

Para el cálculo de los diseños de iluminación industrial:

Modelo luminaria	Consumo unitario hora (€/h)	Consumo unitario año (€/a)	Cantidad lámparas	Consumo total horas (€/h)	Consumo total año (€/a)
LED PANEL RD 9W	€0,86	€7 515,12	8	€6,86	€60 121,00
SYL LIGHTER 15W	€1,54	€13 458,59	35	€53,77	€471 050,73
705 LED 48 2 25W	€2,49	€21 847,44	208	€518,75	€4 544 267,52
705 LED 48 2 40W	€3,99	€34 955,90	222	€885,87	€7 760 210,69
705 LED 48 4 50W	€4,99	€43 694,88	0	€0,00	€0,00
LED HIGHBAY 100W	€10,08	€88 265,46	57	€574,33	€5 031 130,96
TOTAL GENERAL				€2 039,59	€17 866 780,89

Figura 31: Consumo total de iluminación en industria para propuesta led.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Consumo unitario hora (€/h)	Consumo unitario año (€/a)	Cantidad lámparas	Consumo total horas (€/h)	Consumo total año (€/a)
LED 150 2 x CFL 32W	€7,38	€64 674,56	15	€110,74	€970 118,42
705 EO T8 48 2 32W	€6,38	€55 929,45	70	€446,92	€3 915 061,25
705 EO T8 48 3 32W	€10,47	€91 751,75	281	€2 943,18	€25 782 242,64
725 EP T5 48 6 54W	€32,52	€284 900,17	37	€1 203,35	€10 541 306,23
TOTAL GENERAL				€4 704,19	€41 208 728,54

Figura 32: Consumo total de iluminación en industria para propuesta fluorescente.

Fuente: Propia.

De esta forma se aprecia que: el costo por consumo energético anual para el diseño de iluminación LED para industria sería de €17 866 780,89; mientras que el consumo energético anual para el diseño de iluminación fluorescente para industria sería de €41 208 728,54. El ahorro energético por año sería de €23 341 947,65.

Para el cálculo de los diseños de iluminación de oficinas:

Modelo luminaria	Consumo unitario hora (€/h)	Consumo unitario año (€/a)	Cantidad lámparas	Consumo total horas (€/h)	Consumo total año (€/a)
LED PANEL RD 9W	€0,86	€7 515,12	1	€0,86	€7 515,12
SYL LIGHTER 15W	€1,54	€13 458,59	30	€46,09	€403 757,77
705 LED 48 2 25W	€2,49	€21 847,44	67	€167,10	€1 463 778,48
705 LED 48 2 40W	€3,99	€34 955,90	119	€474,86	€4 159 752,58
705 LED 48 4 50W	€4,99	€43 694,88	8	€39,90	€349 559,04
LED HIGHBAY 100W	€10,08	€88 265,46	0	€0,00	€0,00
TOTAL GENERAL				€728,81	€6 384 362,99

Figura 33: Consumo total de iluminación en oficina para propuesta led.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Consumo unitario hora (€/h)	Consumo unitario año (€/a)	Cantidad lámparas	Consumo total horas (€/h)	Consumo total año (€/a)
LED 150 2 x CFL 32W	€7,38	€64 674,56	171	€1 262,48	€11 059 350,04
705 EO T8 48 2 32W	€6,38	€55 929,45	15	€95,77	€838 941,70
705 EO T8 48 3 32W	€10,47	€91 751,75	56	€586,54	€5 138 098,18
725 EP T5 48 6 54W	€32,52	€284 900,17	0	€0,00	€0,00
TOTAL GENERAL				€1 944,79	€17 036 389,91

Figura 34: Consumo total de iluminación en oficina para propuesta fluorescente.

Fuente: Propia.

De esta forma se aprecia que: el costo por consumo energético anual para el diseño de iluminación LED para oficinas sería de ₡6 384 362,99; mientras que el consumo energético anual para el diseño de iluminación fluorescente para oficinas sería de ₡17 036 389,91. El ahorro energético por año sería de ₡10 652 026,92.

Pero se debe además considerar el costo por adquisición y vida útil de las luminarias por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Costo unitario luminaria (₡)} / \text{vida útil luminaria (h)} = \text{Costo instalación unitario (₡/h)}$$

Se resume los resultados en la figura 35, a continuación:

Tecnología	Modelo Luminaria	Costo unitario (₡)	Vida útil (h)	Costo instalación unitario (₡/h)
Led	LED PANEL RD 9W	₡ 3 206,54	25000	₡0,13
	SYL LIGHTER 15W	₡ 20 152,86	35000	₡0,58
	705 LED 48 2 25W	₡ 86 059,08	50000	₡1,72
	705 LED 48 2 40W	₡ 96 014,18	50000	₡1,92
	705 LED 48 4 50W	₡ 117 992,09	50000	₡2,36
	LED HIGHBAY 100W	₡ 77 485,70	50000	₡1,55
Fluorescente	LED 150 2 x CFL 32W	₡ 32 086,35	10000	₡3,21
	705 EO T8 48 2 32W	₡ 65 760,79	15000	₡4,38
	705 EO T8 48 3 32W	₡ 71 157,96	15000	₡4,74
	725 EP T5 48 6 54W	₡ 201 123,05	20000	₡10,06

Figura 35: Costo de instalación unitario por modelo de luminaria.

Fuente: Propia.

Para obtener los datos totales por diseño se considera la fórmula a continuación:

$$\text{Cantidad luminarias} * \text{Costo instalación unitario (₡/h)} = \text{Costo instalación total}^3 \text{ (₡/h)}$$

Los cálculos se resumen en las figura 36 a 39, a continuación:

Modelo luminaria	Cantidad luminarias	Costo instalación unitario (₡/h)	Costo instalación total (₡/h)
LED PANEL RD 9W	8	₡0,13	₡1,03
SYL LIGHTER 15W	35	₡0,58	₡20,15
705 LED 48 2 25W	208	₡1,72	₡358,01
705 LED 48 2 40W	222	₡1,92	₡426,30
705 LED 48 4 50W	0	₡2,36	₡0,00
LED HIGHBAY 100W	57	₡1,55	₡88,33

Figura 36: Costo de instalación total por modelo de luminaria para diseño industrial led.

Fuente: Propia.

³ Por modelo

Modelo luminaria	Cantidad luminarias	Costo instalación unitario (€/h)	Costo instalación total (€/h)
LED 150 2 x CFL 32W	15	€3,21	€48,13
705 EO T8 48 2 32W	70	€4,38	€306,88
705 EO T8 48 3 32W	281	€4,74	€1 333,03
725 EP T5 48 6 54W	37	€10,06	€372,08

Figura 37: Costo de instalación total por modelo de luminaria para diseño industrial fluorescente.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Cantidad luminarias	Costo instalación unitario (€/h)	Costo instalación total (€/h)
LED PANEL RD 9W	1	€0,13	€0,13
SYL LIGHTER 15W	30	€0,58	€17,27
705 LED 48 2 25W	67	€1,72	€115,32
705 LED 48 2 40W	119	€1,92	€228,51
705 LED 48 4 50W	8	€2,36	€18,88
LED HIGHBAY 100W	0	€1,55	€0,00

Figura 38: Costo de instalación total por modelo de luminaria para diseño oficinas led.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Cantidad luminarias	Costo instalación unitario (€/h)	Costo instalación total (€/h)
LED 150 2 x CFL 32W	171	€3,21	€548,68
705 EO T8 48 2 32W	15	€4,38	€65,76
705 EO T8 48 3 32W	56	€4,74	€265,66
725 EP T5 48 6 54W	0	€10,06	€0,00

Figura 39: Costo de instalación total por modelo de luminaria para diseño oficinas fluorescente.

Fuente: Propia.

Con los valores ya obtenidos; de las figuras 31-34 y 36-39; se puede calcular el costo total para la iluminación de cada diseño, considerando el consumo y la instalación, por medio de los cálculos a continuación:

Consumo total horas (€/h) + Costo instalación total (€/h) = Costo total luminaria (€/h).

Para obtener el costo total de la luminaria por año se puede aplicar el siguiente cálculo:

Costo total luminaria (€/h) * Horas del año (h) = Costo total anual luminaria (€/a).

El resumen del cálculo realizado se muestra en el las figuras 40, 41, 42 y 43; a continuación:

Para el cálculo de los diseños de iluminación industrial:

Modelo luminaria	Consumo total horas (€/h)	Costo instalación total (€/h)	Costo total luminaria (€/h)	Costo total anual luminaria (€/a)
LED PANEL RD 9W	€6,86	€1,03	€7,89	€69 109,58
SYL LIGHTER 15W	€53,77	€20,15	€73,93	€189 997,65
705 LED 48 2 25W	€518,75	€358,01	€876,76	€3 157 978,10
705 LED 48 2 40W	€885,87	€426,30	€1 312,17	€3 769 369,79
705 LED 48 4 50W	€0,00	€0,00	€0,00	€43 694,88
LED HIGHBAY 100W	€574,33	€88,33	€662,66	€862 068,70
TOTAL GENERAL			€2 933,41	€25 696 656,32

Figura 40: Costo total para diseño de iluminación industria led.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Consumo total horas (€/h)	Costo instalación total (€/h)	Costo total luminaria (€/h)	Costo total anual luminaria (€/a)
LED 150 2 x CFL 32W	€110,74	€48,13	€158,87	€1 391 733,06
705 EO T8 48 2 32W	€446,92	€306,88	€753,81	€6 603 362,37
705 EO T8 48 3 32W	€2 943,18	€1 333,03	€4 276,20	€37 459 549,25
725 EP T5 48 6 54W	€1 203,35	€372,08	€1 575,42	€13 800 706,38
TOTAL GENERAL			€6 764,31	€59 255 351,06

Figura 41: Costo total para diseño de iluminación industria fluorescente.

Fuente: Propia.

De esta forma; para el edificio industrial; se tiene que el costo anual del total de luminarias para el diseño de iluminación led es de €25 696 656,32, mientras que para el diseño de iluminación fluorescente es de €59 255 351,06. Lo cual muestra un ahorro anual de €33 558 694,74 a favor del diseño de iluminación led. Es decir, un ahorro del costo anual de un % 130,6 a favor de la tecnología led.

Para el cálculo de los diseños de iluminación de oficinas:

Modelo luminaria	Consumo total horas (€/h)	Costo instalación total (€/h)	Costo total luminaria (€/h)	Costo total anual luminaria (€/a)
LED PANEL RD 9W	€0,86	€0,13	€0,99	€8 638,70
SYL LIGHTER 15W	€46,09	€17,27	€63,36	€555 076,96
705 LED 48 2 25W	€167,10	€115,32	€282,42	€2 473 974,41
705 LED 48 2 40W	€474,86	€228,51	€703,37	€6 161 532,99
705 LED 48 4 50W	€39,90	€18,88	€58,78	€514 936,76
LED HIGHBAY 100W	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00
TOTAL GENERAL			€1 108,92	€9 714 159,82

Figura 40: Costo total para diseño de iluminación oficinas led.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Consumo total horas (€/h)	Costo instalación total (€/h)	Costo total luminaria (€/h)	Costo total anual luminaria (€/a)
LED 150 2 x CFL 32W	€1 262,48	€548,68	€1 811,16	€15 865 756,93
705 EO T8 48 2 32W	€95,77	€65,76	€161,53	€1 415 006,22
705 EO T8 48 3 32W	€586,54	€265,66	€852,20	€7 465 248,25
725 EP T5 48 6 54W	€0,00	€0,00	€0,00	€0,00
TOTAL GENERAL			€2 824,89	€24 746 011,40

Figura 41: Costo total para diseño de iluminación de oficinas fluorescente.

Fuente: Propia.

De esta forma; para el edificio industrial; se tiene que el costo anual del total de luminarias para el diseño de iluminación led es de €9 714 159,82, mientras que para el diseño de iluminación fluorescente es de €24 746 011,40. Lo cual muestra un ahorro anual de €15 031 851,57 a favor del diseño de iluminación led. Es decir, un ahorro del costo anual de un %154,74 a favor de la tecnología led.

Se realizó los cálculos de la potencia total consumida por las luminarias, los valores se muestran en las figuras 42, 43, 44 y 45

Modelo luminaria	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Potencia total (kW)
LED PANEL RD 9W	8	8,6	68,8	0,069
SYL LIGHTER 15W	35	15,4	539	0,54
705 LED 48 2 25W	208	25	5200	5,2
705 LED 48 2 40W	222	40	8880	8,88
705 LED 48 4 50W	0	50	0	0
LED HIGHBAY 100W	57	101	5757	5,76
POTENCIA TOTAL GENERAL			20444,8	20,44

Figura 42: Potencia consumida por luminarias de industria en tecnología LED.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Potencia total (kW)
LED 150 2xCFL 32W	15	74	1110	1,11
705 EO T8 48 2 32W	70	64	4480	4,48
705 EO T8 48 3 32W	281	105	29505	29,51
725 EP T5 48 6 54W	37	326	12062	12,06
POTENCIA TOTAL GENERAL			47157	47,16

Figura 43: Potencia consumida por luminarias de industria en tecnología Fluorescente.

Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Potencia total (kW)
LED PANEL RD 9W	1	8,6	8,6	0,0086
SYL LIGHTER 15W	30	15,4	462	0,46
705 LED 48 2 25W	67	25	1675	1,68

705 LED 48 2 40W	119	40	4760	4,76
705 LED 48 4 50W	8	50	400	0,4
LED HIGHBAY 100W	0	101	0	0
POTENCIA TOTAL GENERAL			7305,6	7,31

Figura 44: Potencia consumida por luminarias de oficinas en tecnología LED.
Fuente: Propia.

Modelo luminaria	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Potencia total (kW)
LED 150 2xCFL 32W	171	74	12654	12,65
705 EO T8 48 2 32W	15	64	960	0,96
705 EO T8 48 3 32W	56	105	5880	5,88
725 EP T5 48 6 54W	0	326	0	0
POTENCIA TOTAL GENERAL			19494	19,49

Figura 45: Potencia consumida por luminarias de oficinas en tecnología Fluorescente.
Fuente: Propia.

En el caso del cálculo de las emisiones, para la industria se consideró que las luminarias operan 24 horas por día y los 7 días de la semana. En el caso de las luminarias para oficinas se consideró que operan de lunes a viernes (261 días al año) durante 12 horas.

Con los valores de potencia total de las luminarias y con tiempos de operación anteriormente mencionados se puede calcular el consumo energético anual de la siguiente forma:

Potencia total (kW) * tiempo de operación anual (h) = consumo energético anual (kWh).

El cálculo de los valores obtenidos para cada diseño se muestra en la figura 46, a continuación:

Diseño	Tecnología	Potencia total (kW)	Consumo total (kWh)
Industrial	Led	20,44	179096,45
	Fluorescente	47,16	413095,32
Oficinas	Led	7,31	22881,14
	Fluorescente	19,49	61055,21

Figura 46: Consumo energético total anual.
Fuente: Propia.

Por otra parte para el tema de la vida útil se consideró de la siguiente forma:

Si a esto se le considera la vida útil de las luminarias LED: 50 mil horas (con excepción de las luminarias de 9W; cuya vida útil es de 25 mil horas, y las de 15W; cuya vida útil es de 35 mil horas) se tiene el cálculo a continuación:

Vida útil de luminaria (h) / días que opera al año / horas que opera al día = cantidad años de vida útil

$50\ 000 / 365 / 24 = 5,71$ años.

En el caso de las luminarias fluorescentes la vida útil ronda entre las 10 mil y 20 mil horas por lo que se tomó como un promedio de vida útil 15 mil horas.

$$15\ 000 / 365 / 24 = 1,71 \text{ años.}$$

En el caso de la vida útil de las luminarias led de igual que en el diseño industrial se compone en su mayoría de luminarias de 50 mil horas de vida útil. Por el cálculo sería el siguiente:

$$50000 / 261 / 12 = 15,96 \text{ años.}$$

Y para el caso del diseño de las luminarias fluorescentes en oficina se compone en su mayoría de luminarias de 10 mil horas, por lo tanto se consideró de la siguiente forma:

$$10\ 000 / 261 / 12 = 3,19 \text{ años.}$$

Habiéndose obtenido los valores de vida útil y de consumo energético anual total de las luminarias, se puede calcular la cantidad de emisiones por consumo energético de las mismas durante toda su vida útil, de la siguiente forma:

Consumo energético (kWh) * N⁴ (tCO_{2e}/kWh) * vida útil luminaria (años) = emisiones de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}).

Entendiéndose N como el factor de emisiones; en toneladas; de emisiones de dióxido de carbono por consumo energético de cada kilowatt-hora en Costa Rica.

El valor de N sería de 8.24x10⁻⁵ tCO_{2e}/kWh. Este valor se tomó de la tabla 3 del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), elaborado por la Comisión Programa de Gestión Ambiental Institucional, de la Procuraduría General de la Republica.

El cálculo de emisiones por consumo energético se resume en la figura 47, a continuación:

Diseño	Tecnología	Consumo total (kWh)	Vida útil (años)	Emisiones totales por consumo energético (tCO _{2e})
Industrial	Led	179096,45	5,71	84,23
	Fluorescente	413095,32	1,71	58,29
Oficinas	Led	22881,14	15,96	30,10
	Fluorescente	61055,21	3,19	16,06

Figura 46: Emisiones de CO_{2e} anuales por consumo energético de las luminarias.

Fuente: Propia.

En cuanto a las emisiones producidas debido a la adquisición de las luminarias se consideraron los valores de la figura 21, para calcular este monto se consideró que las luminarias led producen el mismo valor de emisiones por adquisición entre sí para todas las luminarias indistintamente del modelo. De igual forma para las luminarias fluorescentes se consideró que el valor de emisiones es el mismo sin importar el modelo. El cálculo de las emisiones sería de la siguiente manera:

Cantidad de luminarias * Cantidad total de emisiones por luminaria (kgCO_{2e}) = cantidad total de emisiones por adquisición (kgCO_{2e}).

⁴ En toneladas

Se resume el cálculo realizado en la figura 47, a continuación:

Diseño	Tecnología	Cantidad luminarias	Emisiones totales por luminaria (kgCO ₂ e)	Emisiones totales adquisición (kgCO ₂ e)
Industria	Led	530	12,73	6745,31
	Fluorescente	403	9,24	3725,49
Oficinas	Led	225	12,73	2863,58
	Fluorescente	242	9,24	2237,14

Figura 47: Emisiones de CO₂e por adquisición de las luminarias.

Fuente: Propia.

Con los valores de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el consumo y las emisiones de los gases por adquisición se realizó el cálculo del total de gases de efecto invernadero para cada tecnología de iluminación, según el diseño en cuestión. En la figura 48 se muestra el resumen de este cálculo.

Diseño	Tecnología	Emisiones consumo energético (tCO ₂ e)	Emisiones totales adquisición (tCO ₂ e)	Emisiones totales (tCO ₂ e)
Industria	Led	84,23	6,75	90,98
	Fluorescente	58,29	3,73	62,01
Oficinas	Led	30,10	2,86	32,96
	Fluorescente	16,06	2,24	18,30

Figura 48: Emisiones de CO₂e totales.

Fuente: Propia.

Pero para hacer una comparación más realista de la cantidad de emisiones se debe hacer considerando la cantidad anualmente, pues el total que se calculó consiste en el valor de emisiones para toda la vida útil de cada tecnología de luminaria, pero como se indicó anteriormente las luminarias difieren en su vida útil, por tanto se realizó el cálculo a continuación:

$$\text{Emisiones totales (tCO}_2\text{e)} / \text{vida útil luminaria (año)} = \text{Emisiones totales por año (tCO}_2\text{e/año)}$$

Se resume el cálculo realizado en la figura 49, a continuación:

Diseño	Tecnología	Emisiones totales (tCO ₂ e)	Vida útil (años)	Emisiones totales anuales (tCO ₂ e/año)
Industria	Led	90,98	5,71	15,94
	Fluorescente	62,01	1,71	36,21
Oficinas	Led	32,96	15,96	2,06
	Fluorescente	18,30	3,19	5,73

Figura 48: Emisiones de CO₂e totales anuales.

Fuente: Propia.

Con los valores mostrados en la figura 49, se puede apreciar que: la cantidad de emisiones anuales para el diseño con la tecnología de iluminación led para industria son de 15,94 toneladas de CO₂e, mientras que para el diseño de iluminación fluorescente para la misma industria las emisiones anuales son de 36,21 toneladas de CO₂e. La diferencia sería de 20,28 toneladas anuales de CO₂e. Esto quiere decir que las luminarias fluorescentes producen un 127,20% más gases de efecto

invernadero anualmente con respecto a las luminarias led; para los diseños realizados para la industria en cuestión.

Por otra parte para la oficina escogida, se puede apreciar que: la cantidad de emisiones anuales para el diseño con la tecnología de iluminación led son de 2,06 toneladas de CO₂e, mientras que para el diseño de iluminación fluorescente las emisiones anuales son de 5,73 toneladas de CO₂e. La diferencia sería de 3,67 toneladas anuales de CO₂e. Esto quiere decir que las luminarias fluorescentes producen un 177,59% más gases de efecto invernadero anualmente con respecto a las luminarias led; para los diseños realizados para la oficina en cuestión.

Capítulo VI: Conclusiones

- Se definieron los modelos que mejor se adecuan a cada área del edificio de oficinas escogido, considerando el valor económico y especialmente la capacidad de iluminación más equivalente posible.
- Se definieron los modelos que mejor se adecuan a cada área del edificio industrial escogido, considerando el valor económico y especialmente la capacidad de iluminación más equivalente posible.
- Se realizaron los cuatro diseños de iluminación considerando cumplir con los requisitos técnicos necesarios para cada área, demostrando que se puede cumplir con las necesidades de iluminación con tecnología led o fluorescente.
- Se indicó el costo por adquisición total de las luminarias de cada uno de los diseños de iluminación realizados, identificando que el costo de adquisición para la tecnología led es mayor al de la tecnología fluorescente.
- Se determinó el total de potencia para cada tecnología de iluminación para un edificio de oficinas y para un edificio industrial, demostrando que la potencia de la tecnología led es menor a la potencia de la tecnología fluorescente.
- Se definió el costo por hora y anual del consumo energético y por adquisición demostrando que la tecnología de iluminación led concibe un ahorro en la tarifa eléctrica, de igual forma por adquisición con respecto a la vida útil, con respecto a la tecnología de iluminación fluorescente.
- Se midió la huella de carbono mediante análisis de ciclo de vida, reflejando que la iluminación de tecnología led tiene un menor impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero a las emisiones de la tecnología fluorescente.
- Se concluye que; si bien la tecnología de iluminación led tiene un mayor costo adquisitivo con respecto a la tecnología de iluminación fluorescente; el ahorro en consumo energético, la mejora en vida útil y la disminución en impacto medioambiental hacen de la tecnología led la más adecuada para las necesidades de un edificio de industria, así como para un edificio de oficinas, considerando los conceptos de sostenibilidad ambiental, en Costa Rica, en el año 2021.

Capítulo VII: Recomendaciones

- Se recomienda que el análisis de sostenibilidad se realice con datos acordes a cada modelo de luminaria, es decir, que se realice una descomposición física de cada luminaria, con el fin de determinar realmente las cantidades de cada material, y así verificar los valores de impacto ambiental de acuerdo a cada material utilizado para su manufactura y posterior desecho. Tomar en cuenta que para la descomposición de la luminaria se debe realizar en las condiciones adecuadas para evitar tener un accidente o producir una contaminación debido a los gases o cualquier otro material peligroso que puedan tener las luminarias, especialmente el caso de las luminarias fluorescentes.
- Se recomienda realizar un análisis de potencia más completo, considerando valores de rectificación por potencia en desfase, para así tener un mejor estimado del costo de consumo energético.
- Se recomienda considerar para el diseño una mayor cantidad de modelos, incluyendo modelos de otras marcas, pues este estudio se limitó únicamente a luminarias de la marca Sylvania.
- Se recomienda incluir en el análisis el costo de la mano de obra por la instalación de las luminarias, mantenimiento y cambio de luminaria al final de su vida útil.
- Se recomienda considerar dentro del análisis de ciclo de vida además de las emisiones de gases de efecto invernadero, otros factores como pueden ser la contaminación de mantos acuíferos, impacto de suelos, entre otros.
- Se recomienda adquirir luminarias certificadas y que cumplan con altos estándares de calidad, para así aprovechar de mejor forma la inversión (en caso de realizarse) de utilizar las luminarias en tecnología led.

Bibliografía

- Macedo, B. (2005). El concepto de sostenibilidad. *Recuperado el, 22.* <http://tallerdesustentabilidad.ced.cl/wp/wp-content/uploads/2015/04/UNESCO-EI-concepto-de-sustentabilidad.pdf>
- Quiroga Martínez, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas.* cepal. <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5570/S0110817es.pdf?sequence=1>
- Reyes Pérez, P. (2016). Propuesta para una iluminación eficiente en el edificio de Ciencias Forenses y Medicina Legal de San Joaquín de Flores, Heredia. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13663/tesis%20completa%20Paola%20Reyes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro Guaman, M. P., & Posligua Murillo, N. C. (2015). *Diseño de iluminación con luminarias tipo Led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas* (Bachelor's thesis). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10253/1/UPS-GT001344.pdf>
- Granados Poveda, D. P., & Rey Vargas, L. X. (2019). Propuesta de una alternativa de eficiencia energética en el edificio el cubo en la ciudad de Bogotá DC. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24090/1/Proyecto%20de%20Trabajo%20de%20Grado_551340_551294.pdf
- Murguía Sánchez, L. (2002). *La luz en la Arquitectura. Su influencia sobre la salud de las personas. Estudio sobre la variabilidad del alumbrado artificial en oficinas.* Universitat Politècnica de Catalunya. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6108#page=1>
- Sanes Orrego, A. (2012). El análisis de ciclo de vida (ACV) en el desarrollo sostenible: propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos. *Instituto de Estudios Ambientales (IDEA).* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11450>
- Cardim de Carvalho Filho, A. (2001). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento-Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento.* Universitat Politècnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/2117/93218>

- Cano, N. G. (2016). *Integración de metodologías de análisis de ciclo de vida al diseño sistemático de procesos químicos* (Doctoral dissertation, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante). <http://hdl.handle.net/10045/57479>
- Davila Trigozo, M. (2018). Sistema de iluminación LED que permita reducir el consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación de la zona céntrica de Morales, 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/27098>
- Serrano-Tierz, A., Martínez-Iturbe, A., Guarddon-Muñoz, O., & Santolaya-Sáenz, J. L. (2015). Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. *Dyna*, 82(191), 231-239. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49639089029.pdf>
- Urrutia Bones, J. (2019). Diseño de iluminación led con control domótico para el ahorro de energía eléctrica y su complementación en las oficinas corporativas del edificio Torre Begonias. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2468>
- Sandoval, T. L. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico y propuesta de modernización del sistema de iluminación de un edificio administrativo. biblioteca@uia.ac.cr
- Esquivel, C. J. (2019). Diseño de iluminación para túneles realizado con diferentes tecnologías. biblioteca@uia.ac.cr
- Jerez Esquivel, M. A. (2013) Sistema de iluminación para un local comercial. biblioteca@uia.ac.cr
- Quirós Villalobos, O. F. (2018) Análisis de las nuevas tendencias tecnológicas utilizadas en diseños eléctricos de iluminación y aire acondicionado basados en ahorro energético de edificios de oficinas. biblioteca@uia.ac.cr
- Salas Calderón, J. A. (2018) Análisis de un sistema eléctrico dedicado a la iluminación para la implementación de paneles fotovoltaicos una empresa electromecánica. biblioteca@uia.ac.cr
- Martín, A. A. G., & SECUNDARIA, E. (1988). Historia de la iluminación. *Tecnología en Educación Secundaria*, ISSN, 6047. https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_23/ANDRES_A_GIL_1.pdf

- Hernández, I. M. Evolución en Iluminación. https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Moreno-19/publication/265086670_LED_Evolucion_en_Iluminacion/links/53fe14630cf283c3583b0311/LED-Evolucion-en-Iluminacion.pdf
- Ola, M. I. J. L. UTILICE LAMPARAS FLUORESCENTES Y AHORRE EN SU FACTURA DE ENERGIA ELECTRICA. *Revista Electrónica Ingeniería Primero-ISSN, 2076, 3166.* https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin17/URL_17_MEC01_LAMPARAS.pdf
- Villazón Godoy, R. E., Pinzón Latorre, A. A., Sánchez Caicedo, A. N., & Rodríguez Vargas, D. F. (2018). *Luz Materia: estrategias proyectuales para la iluminación de espacios arquitectónicos.* Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes. https://books.google.co.cr/books?id=myLtDwAAQBAJ&pg=PA41&lpg=PA41&dq=figura+estereorradián&source=bl&ots=l6W15YDbDa&sig=ACfU3U3Rb-UXFAIM2GAVWncA8hbudCHPbg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjz6PW_7pfvAhXL01kKHTe3DEM4FBD0ATAGegQIFBAD#v=onepage&q=figura%20estereorradián&f=false
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2016, 15 de abril) INTE/ISO 8995-1:2016 Iluminación de lugares de trabajo. https://www.academia.edu/32763005/INTE_ISO_8995_1_2016
- Macedo, B. (2005). El concepto de sostenibilidad. *Oficina Reg Educ para Am Lat y el Caribe-UNESCO, 4.* <http://tallerdesustentabilidad.ced.cl/wp/wp-content/uploads/2015/04/UNESCO-El-concepto-de-sustentabilidad.pdf>
- Sanchez, G. F. (2009). *Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos: aplicación empírica para sistemas agrarios de Castilla y León* (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=156225>
- Portillo, S.R. (22, setiembre, 2020). Indicadores ambientales: qué son, tipo y ejemplos. <https://www.ecologiaverde.com/indicadores-ambientales-que-son-tipos-y-ejemplos-2759.html>

- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información tecnológica*, 23(1), 163-176. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642012000100017&script=sci_arttext&tlng=en
- Rodríguez, B. R. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín IIE*, 91-97. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/MAES-07/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/lecturas/ACV_GA.pdf
- Usón, A. A., Usón, J. A. A., & Bribián, I. Z. (2010). *Ecodiseño y análisis de ciclo de vida* (Vol. 178). Universidad de Zaragoza. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xFOgktQ6S8EC&oi=fnd&pg=PA1&dq=análisis+de+ciclo+de+vida&ots=Je3iwwKszE&sig=O68KFO_apQFUcJJHiilf2IvghKg#v=onepage&q=análisis%20de%20ciclo%20de%20vida&f=false
- Ministerio de Ambiente y Energía de la república de Costa Rica. (2018, 6 de abril) Oficializa Programa País Carbono Neutralidad, Acuerdo -36-2012 – MINAET http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=72748
- Huamán Flores, J. N., & Solórzano Ramírez, D. V. (2019). El costo de adquisición de la mercadería y su efecto en el estado de resultados de la empresa comercial Dimacer SAC en el periodo 2017. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2214>
- Cruz Romero, D. E. (2018). Métodos de depreciación de maquinarias y equipos en el flujo de efectivo. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12062>
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=s2071-081x2014000100006&script=sci_arttext
- <https://www.dialux.com/en-GB/frequently-asked-questions>

Anexos

Anexo A: Lista de luminarias del proyecto industrial en tecnología fluorescente.

Lista de luminarias

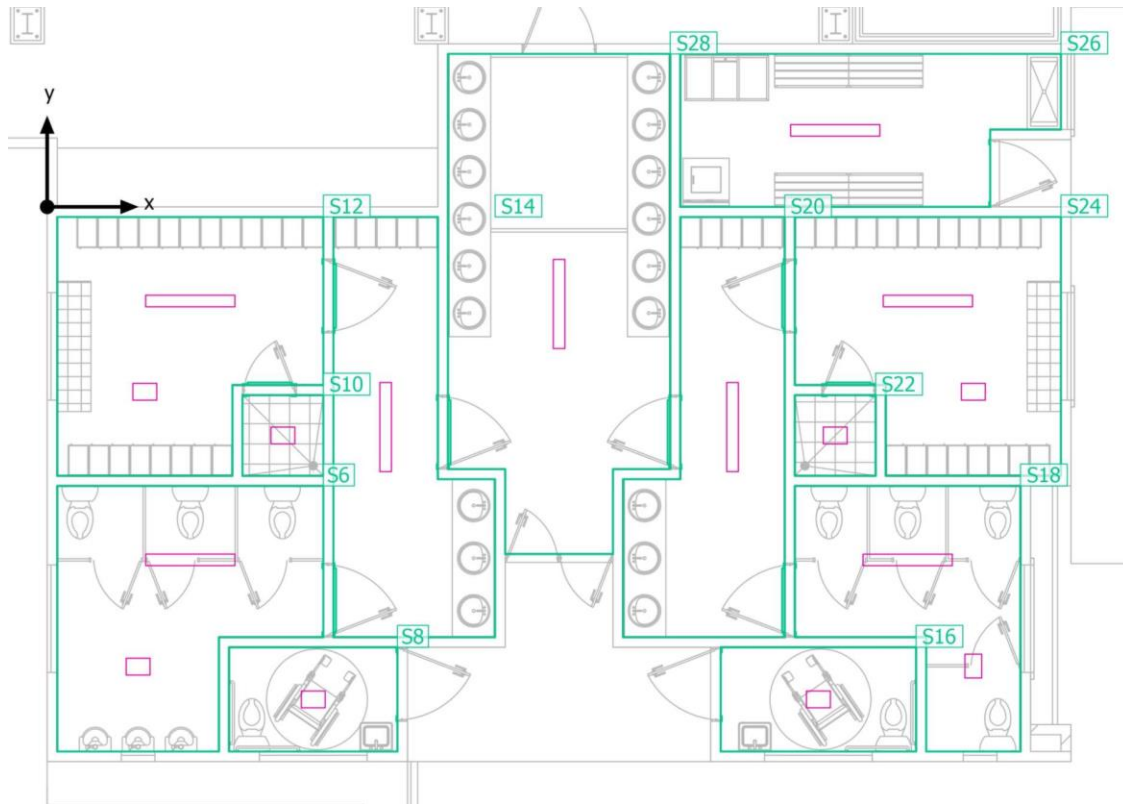
Φ_{total}	P_{total}	Rendimiento lumínico
3090425 lm	47157.0 W	65.5 lm/W

70	FEILO SYLVANIA S.A.	UL 705-EO-48- 2 32W	DE SOBREPONER/ILUMINACIÓN GENERAL	64.0 W	4800 lm	75.0 lm/W
281	HAVELLS SYLVANIA S.A.	705 EO 48 3 32W T8	DE SOBREPONER/ILUMINACIÓN GENERAL	105.0 W	6121 lm	58.3 lm/W
15	HAVELLS SYLVANIA S.A.	UL LED 150 2x32W	DE SOBREPONER/ILUMINACIÓN GENERAL	74.0 W	2739 lm	37.0 lm/W
37	HAVELLS_S YLVANIA		UL725 EP48 6x54W	326.0 W	26847 lm	82.4 lm/W

Anexo B: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de sanitarios de proyecto industrial fluorescente.

Baños · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo



Baños · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo

Planos útiles

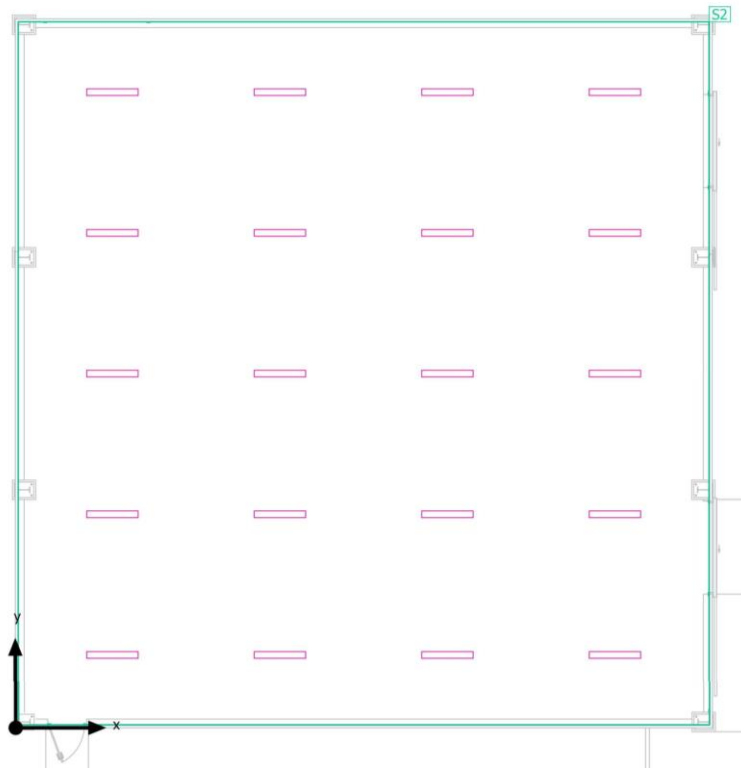
Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Sanitarios hombres) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	314 lx (≥ 200 lx)	47.8 lx	692 lx	6.57	14.5	<input type="checkbox"/>
Plano útil (Baño discapacitados 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	529 lx (≥ 200 lx)	105 lx	731 lx	5.04	6.96	<input type="checkbox"/>

Plano útil (Ducha hombres)	1066 lx	909 lx	1180 lx	1.17	1.30	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Vestidor hombres)	380 lx	13.2 lx	779 lx	28.8	59.0	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Pasillo y lavamanos sanitario hombres)	281 lx	0.58 lx	602 lx	484	1038	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx) ✓					
Plano útil (Baño discapacitados 2)	480 lx	131 lx	702 lx	3.66	5.36	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Sanitarios mujeres)	280 lx	70.7 lx	539 lx	3.96	7.62	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Pasillo y lavamanos sanitario mujeres)	287 lx	0.95 lx	612 lx	302	644	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx) ✓					
Plano útil (Ducha mujeres)	1084 lx	947 lx	1197 lx	1.14	1.26	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Vestidor mujeres)	383 lx	11.9 lx	779 lx	32.2	65.5	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Lavandería y bodega)	145 lx	0.046 lx	341 lx	3152	7413	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx) ✓					
Plano útil (Pasillo principal y lavamanos)	197 lx	61.2 lx	450 lx	3.22	7.35	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx) ✓					

Anexo C: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de cuarto de máquinas de proyecto industrial fluorescente.

Cuarto de máquinas · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo



Cuarto de máquinas · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo

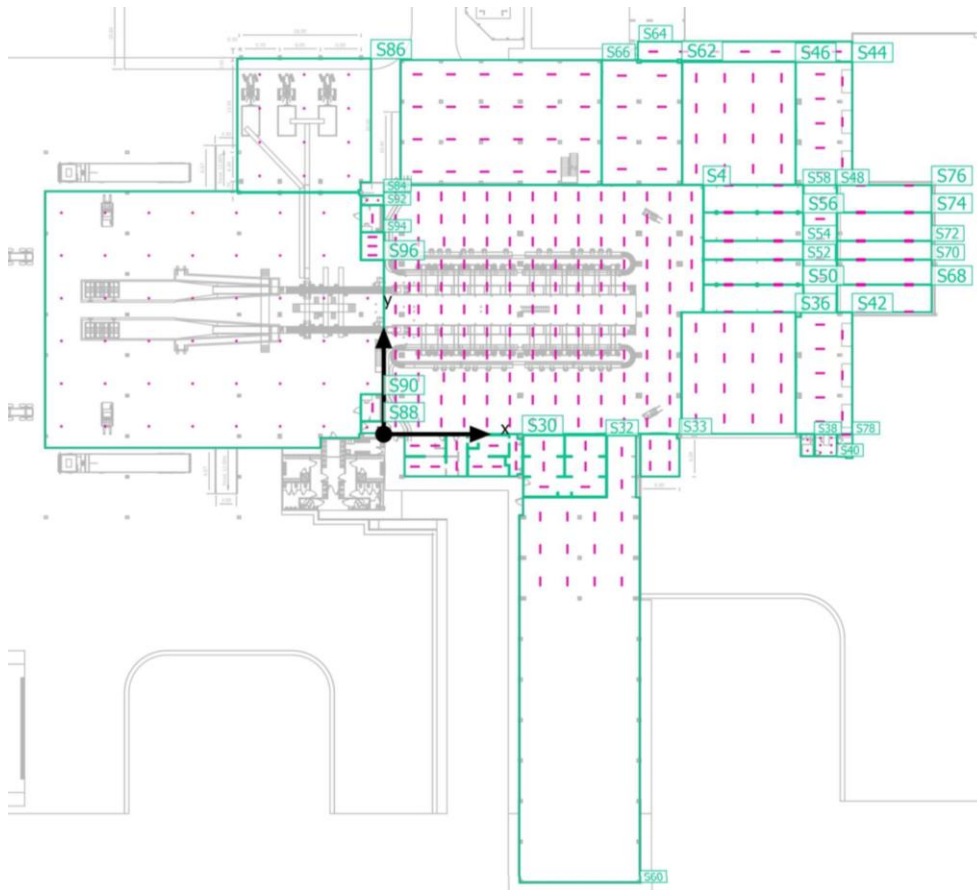
Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Cuarto de máquinas) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	245 lx (≥ 200 lx)	138 lx	308 lx	1.78	2.23	✓

Anexo D: Resultado de cálculo de iluminación de primer nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial fluorescente.

Planta · Planta nivel 1

Objetos de cálculo



Planta · Planta nivel 1

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Área de empaque y entarimado manual) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	302 lx (≥ 300 lx)	8.49 lx	453 lx	35.6	53.4	<input type="checkbox"/>
	✓					

Plano útil (Bodegas de equipo de trabajo)	120 lx	30.5 lx	203 lx	3.93	6.66	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega general de suministros)	105 lx	58.6 lx	155 lx	1.79	2.65	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cuarto baterías)	205 lx	91.2 lx	342 lx	2.25	3.75	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cámara de enfriamiento 1)	123 lx	65.0 lx	158 lx	1.89	2.43	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pediluvio 1)	226 lx	143 lx	282 lx	1.58	1.97	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (oficina 1)	338 lx	85.0 lx	465 lx	3.98	5.47	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 300 lx)					
Altura: 0.850 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Andenes de carga 1, 2 y 3)	155 lx	87.7 lx	206 lx	1.77	2.35	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 150 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Andenes de carga 4, 5 y 6)	154 lx	74.3 lx	207 lx	2.07	2.79	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 150 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cámara de enfriamiento 2)	122 lx	64.3 lx	157 lx	1.90	2.44	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pasillo túneles fríos 5-9)	123 lx	82.6 lx	143 lx	1.49	1.73	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 4)	142 lx	41.5 lx	245 lx	3.42	5.90	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

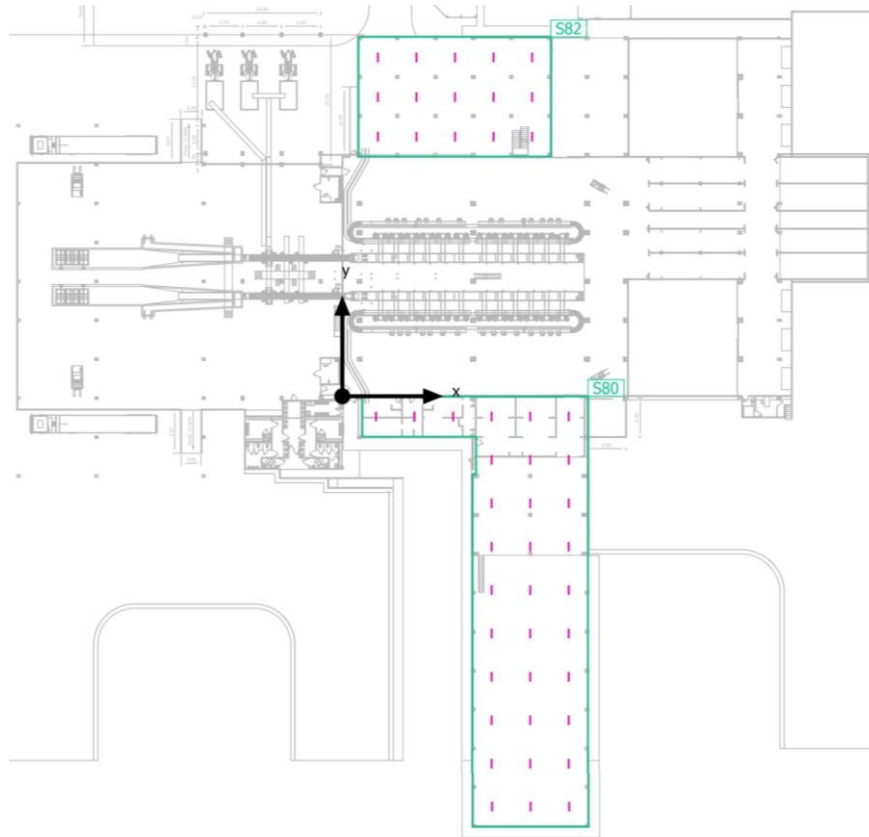
Plano útil (Tunel frío 3)	148 lx	42.8 lx	261 lx	3.46	6.10	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pasillo tuneles fríos 1-4)	177 lx	50.7 lx	333 lx	3.49	6.57	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 2)	138 lx	41.8 lx	232 lx	3.30	5.55	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 1)	141 lx	40.6 lx	244 lx	3.47	6.01	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de cartón 1)	120 lx	50.5 lx	248 lx	2.38	4.91	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de tarimas)	107 lx	47.9 lx	139 lx	2.23	2.90	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pasillo andén carga)	141 lx	83.7 lx	188 lx	1.68	2.25	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de cartón 2)	117 lx	27.4 lx	150 lx	4.27	5.47	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 9)	151 lx	71.0 lx	243 lx	2.13	3.42	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 8)	160 lx	76.6 lx	266 lx	2.09	3.47	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 7)	180 lx	88.2 lx	325 lx	2.04	3.68	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 6)	147 lx	68.6 lx	234 lx	2.14	3.41	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Plano útil (Túnel frío 5)	150 lx	68.2 lx	239 lx	2.20	3.50	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Ventanilla)	117 lx	25.3 lx	155 lx	4.62	6.13	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Área de recibo y selección de fruta)	310 lx	15.6 lx	539 lx	19.9	34.6	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 300 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Área de rechazo de fruta)	389 lx	153 lx	564 lx	2.54	3.69	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 300 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pediluvio 2)	237 lx	169 lx	290 lx	1.40	1.72	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de ceras 1)	163 lx	98.7 lx	240 lx	1.65	2.43	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pediluvio 3)	249 lx	188 lx	301 lx	1.32	1.60	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de ceras 2)	164 lx	102 lx	241 lx	1.61	2.36	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Laboratorio)	639 lx	368 lx	824 lx	1.74	2.24	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Anexo E: Resultado de cálculo de iluminación de segundo nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial fluorescente.

Planta · Planta nivel 2

Objetos de cálculo



Planta · Planta nivel 2

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Mezzanine bodega de cartón 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	138 lx (≥ 100 lx)	55.6 lx	223 lx	2.48	4.01	✓
Plano útil (Mezzanine bodega de cartón 2) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	128 lx (≥ 100 lx)	64.9 lx	175 lx	1.97	2.70	✓

Anexo F: Lista de luminarias del proyecto industrial en tecnología led.

Lista de luminarias

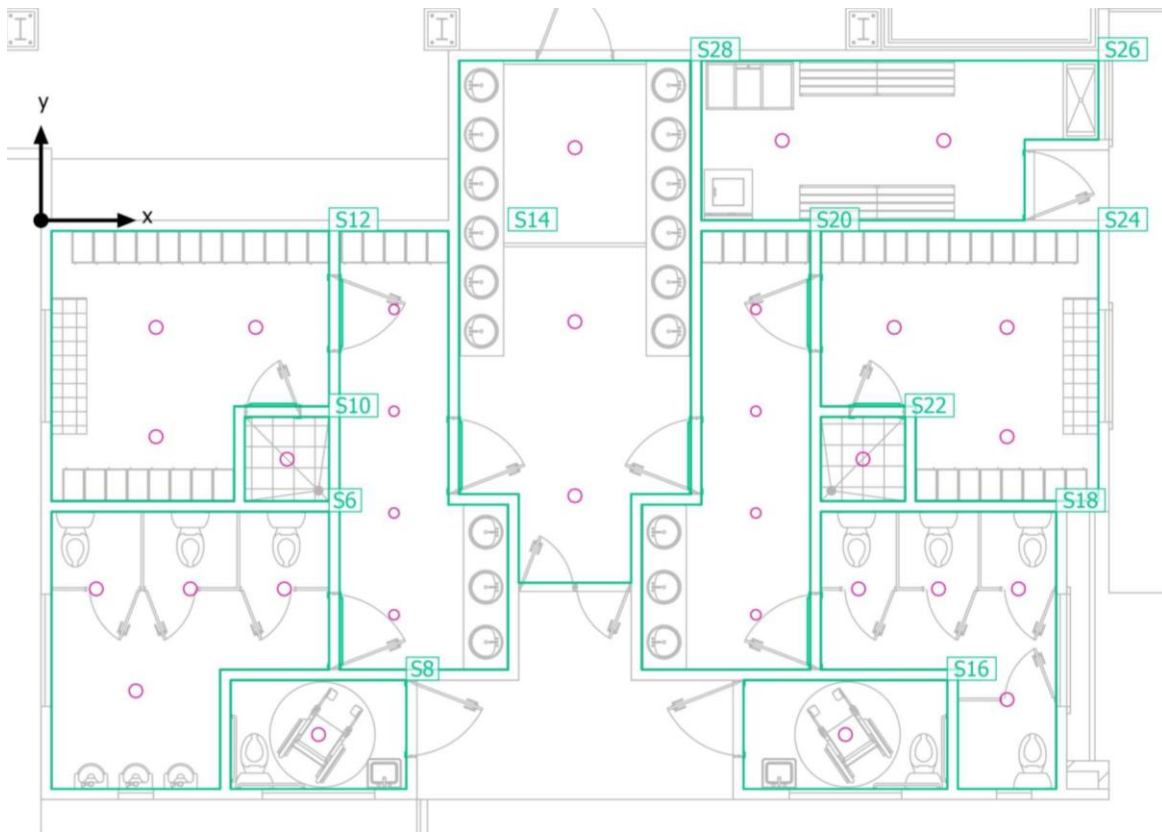
Φ_{total}	P_{total}	Rendimiento lumínico
2865542 lm	20444.8 W	140.2 lm/W

208	FEILO	UL705 48 2 3000L 25W 4K	De Sobreponer o Colgar/ Iluminacion General	25.0 W	3418 lm	136.7 lm/W
222	FEILO	UL705 48 2 5000L 40W 4K	De Sobreponer o Colgar/ Iluminacion General	40.0 W	5592 lm	139.8 lm/W
35	HAVELLS SYLVANIA S.A.		SYL LIGHTER 15W 4000K	15.4 W	1182 lm	76.7 lm/W
57	SYLVANIA		P23752-LED HIGHBAY 100W CW GC350 DIM	101.0 W	15220 lm	150.7 lm/W
8	SYLVANIA	INTERIOR	EMPOTRAR	8.6 W	533 lm	62.0 lm/W

Anexo G: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de sanitarios de proyecto industrial led.

Baños · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo



Baños · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo

Planos útiles

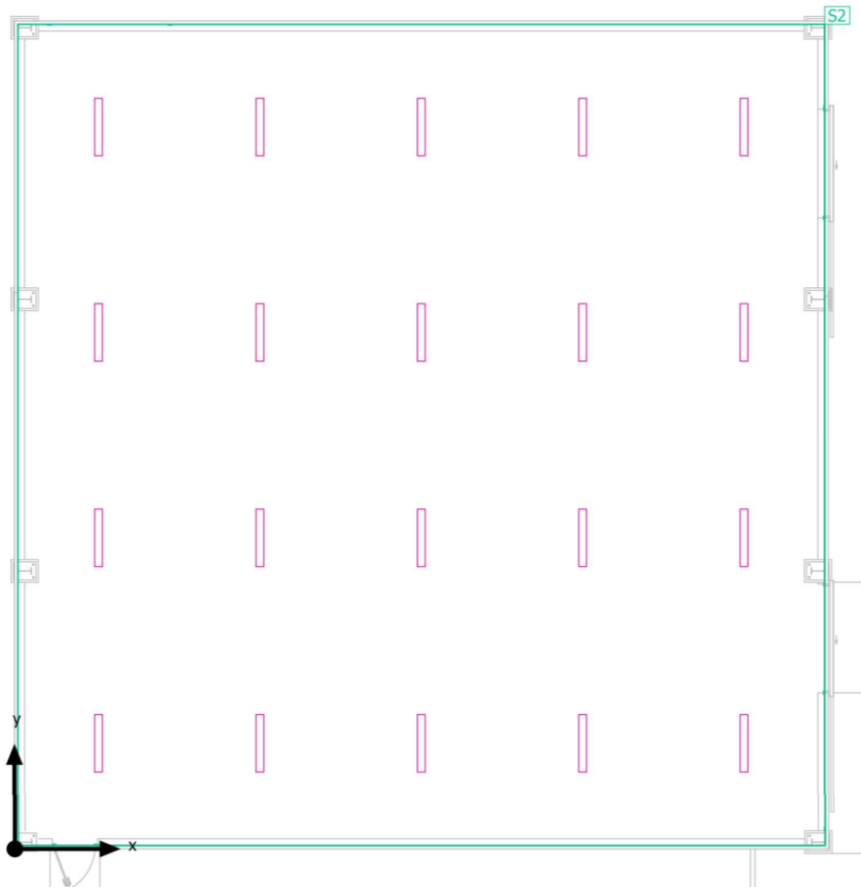
Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Sanitarios hombres) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	210 lx (≥ 200 lx)	76.0 lx	378 lx	2.76	4.97	<input type="checkbox"/>
	✓					
Plano útil (Baño discapacitados 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	236 lx (≥ 200 lx)	45.2 lx	328 lx	5.22	7.26	<input type="checkbox"/>
	✓					

Plano útil (Ducha hombres)	490 lx	395 lx	537 lx	1.24	1.36	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)	✓				
Plano útil (Vestidor hombres)	210 lx	4.40 lx	385 lx	47.7	87.5	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)	✓				
Plano útil (Pasillo y lavamanos sanitario hombres)	131 lx	0.022 lx	183 lx	5955	8318	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx)	✓				
Plano útil (Baño discapacitados 2)	215 lx	62.8 lx	323 lx	3.42	5.14	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)	✓				
Plano útil (Sanitarios mujeres)	209 lx	81.9 lx	390 lx	2.55	4.76	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)	✓				
Plano útil (Pasillo y lavamanos sanitario mujeres)	130 lx	0.010 lx	186 lx	13000	18600	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx)	✓				
Plano útil (Ducha mujeres)	485 lx	405 lx	531 lx	1.20	1.31	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)	✓				
Plano útil (Vestidor mujeres)	209 lx	4.99 lx	367 lx	41.9	73.5	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)	✓				
Plano útil (Lavandería y bodega)	121 lx	1.42 lx	252 lx	85.2	177	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx)	✓				
Plano útil (Pasillo principal y lavamanos)	159 lx	42.5 lx	291 lx	3.74	6.85	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 100 lx)	✓				

Anexo H: Resultado de cálculo de iluminación del edificio de cuarto de máquinas de proyecto industrial led.

Cuarto de máquinas · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo



Cuarto de máquinas · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo

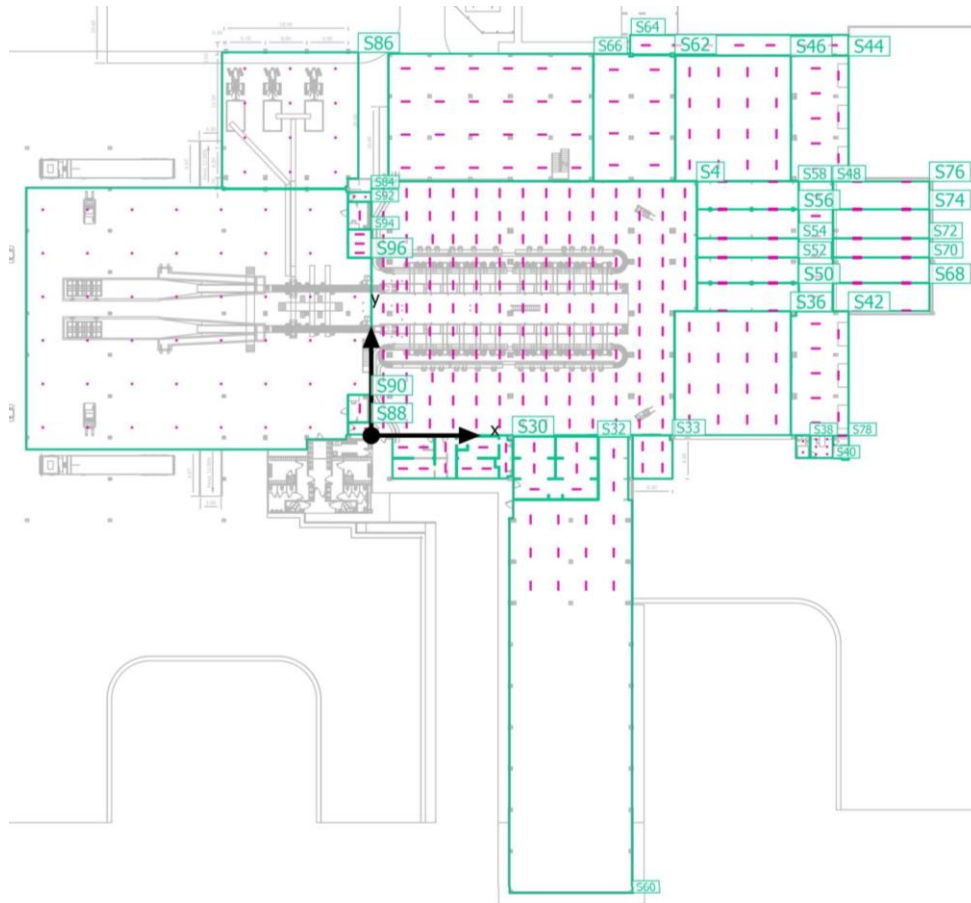
Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Cuarto de máquinas) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	227 lx (≥ 200 lx)	128 lx	276 lx	1.77	2.16	✓

Anexo I: Resultado de cálculo de iluminación de primer nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial led.

Planta · Planta nivel 1

Objetos de cálculo



Planta · Planta nivel 1

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Área de empaque y entarimado manual) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	312 lx (≥ 300 lx)	7.31 lx	465 lx	42.7	63.6	<input type="checkbox"/>



Plano útil (Bodegas de equipo de trabajo)	126 lx	21.7 lx	188 lx	5.81	8.66	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega general de suministros)	143 lx	77.6 lx	190 lx	1.84	2.45	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cuarto baterías)	220 lx	130 lx	280 lx	1.69	2.15	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cámara de enfriamiento 1)	122 lx	67.2 lx	148 lx	1.82	2.20	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pediluvio 1)	161 lx	34.6 lx	208 lx	4.65	6.01	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 1)	336 lx	24.4 lx	443 lx	13.8	18.2	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 300 lx)					
Altura: 0.855 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Andenes de carga 1, 2 y 3)	178 lx	92.3 lx	238 lx	1.93	2.58	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 150 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Andenes de carga 4, 5 y 6)	176 lx	67.7 lx	237 lx	2.60	3.50	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 150 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cámara de enfriamiento 2)	122 lx	67.1 lx	149 lx	1.82	2.22	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pasillo túneles fríos 5-9)	120 lx	69.9 lx	150 lx	1.72	2.15	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Túnel frío 4)	155 lx	73.4 lx	273 lx	2.11	3.72	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

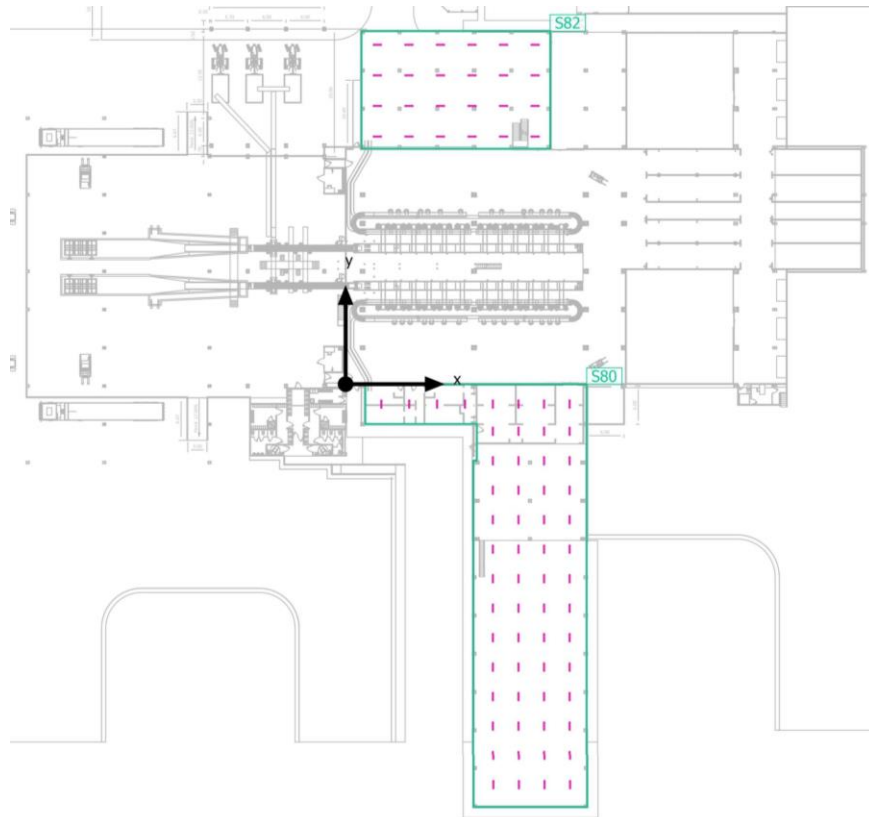
Plano útil (Tunel frío 3)	161 lx	76.5 lx	285 lx	2.10	3.73	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pasillo tuneles fríos 1-4)	114 lx	58.4 lx	207 lx	1.95	3.54	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 2)	152 lx	67.7 lx	256 lx	2.25	3.78	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 1)	155 lx	74.3 lx	269 lx	2.09	3.62	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de cartón 1)	104 lx	41.3 lx	142 lx	2.52	3.44	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de tarimas)	133 lx	60.1 lx	168 lx	2.21	2.80	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pasillo andén carga)	117 lx	73.7 lx	140 lx	1.59	1.90	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de cartón 2)	104 lx	20.9 lx	129 lx	4.98	6.17	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 9)	102 lx	52.1 lx	168 lx	1.96	3.22	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Laboratorio)	568 lx	387 lx	748 lx	1.47	1.93	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 8)	108 lx	56.4 lx	181 lx	1.91	3.21	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 7)	119 lx	64.3 lx	208 lx	1.85	3.23	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Plano útil (Tunel frío 6)	100.0 lx	48.5 lx	166 lx	2.06	3.42	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.780 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Tunel frío 5)	102 lx	53.5 lx	168 lx	1.91	3.14	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Ventanilla)	138 lx	27.3 lx	197 lx	5.05	7.22	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Área de recibo y selección de fruta)	313 lx	19.4 lx	471 lx	16.1	24.3	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 300 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Área de rechazo de fruta)	363 lx	65.1 lx	499 lx	5.58	7.67	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 300 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pediluvio 2)	173 lx	115 lx	209 lx	1.50	1.82	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de ceras 1)	130 lx	77.3 lx	206 lx	1.68	2.66	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Pediluvio 3)	184 lx	125 lx	221 lx	1.47	1.77	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Bodega de ceras 2)	129 lx	74.8 lx	205 lx	1.72	2.74	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Anexo J: Resultado de cálculo de iluminación de segundo nivel del edificio de planta de proceso de proyecto industrial led.

Planta · Planta nivel 2

Objetos de cálculo



Planta · Planta nivel 2

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Mezzanine bodega de cartón 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	144 lx (≥ 100 lx)	40.2 lx	228 lx	3.58	5.67	✓
Plano útil (Mezzanine bodega de cartón 2) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	113 lx (≥ 100 lx)	57.7 lx	145 lx	1.96	2.51	✓

Anexo K: Lista de luminarias del proyecto de oficinas en tecnología fluorescente.

Lista de luminarias

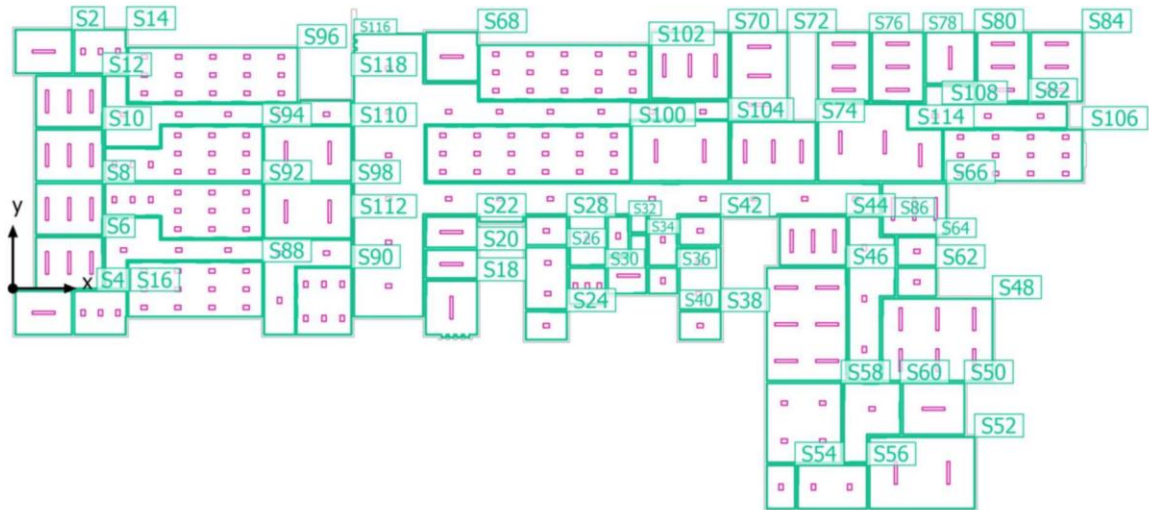
Φ_{total}	P_{total}	Rendimiento lumínico
883145 lm	19494.0 W	45.3 lm/W

15	FEILO SYLVANIA S.A.	UL 705-EO-48-2 32W	DE SOBREPONER/ILUMINACIÓN GENERAL	64.0 W	4800 lm	75.0 lm/W
56	HAVELLS SYLVANIA S.A.	705 EO 48 3 32W T8	DE SOBREPONER/ILUMINACIÓN GENERAL	105.0 W	6121 lm	58.3 lm/W
171	HAVELLS SYLVANIA S.A.	UL LED 150 2x32W	DE SOBREPONER/ILUMINACIÓN GENERAL	74.0 W	2739 lm	37.0 lm/W

Anexo L: Resultado de cálculo de iluminación del edificio completo de proyecto de oficinas fluorescente.

Edificio corte · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo



Edificio corte · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Archivo 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	249 lx (≥ 200 lx)	157 lx	419 lx	1.59	2.67	<input type="checkbox"/>
Plano útil (Archivo 2) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	250 lx (≥ 200 lx)	160 lx	419 lx	1.56	2.62	<input type="checkbox"/>
Plano útil (Oficina 04) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	634 lx (≥ 500 lx)	423 lx	806 lx	1.50	1.91	<input type="checkbox"/>
Plano útil (Oficina 03) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	634 lx (≥ 500 lx)	429 lx	811 lx	1.48	1.89	<input type="checkbox"/>

Plano útil (Oficina 02)	631 lx	428 lx	811 lx	1.47	1.89	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx) ✓					
Plano útil (Oficina 01)	632 lx	420 lx	810 lx	1.50	1.93	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx) ✓					
Plano útil (Sala fotocopiado 1)	416 lx	19.3 lx	655 lx	21.6	33.9	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 300 lx) ✓					
Plano útil (Sala fotocopiado 2)	420 lx	24.7 lx	663 lx	17.0	26.8	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 300 lx) ✓					
Plano útil (Cuarto telemática)	259 lx	169 lx	333 lx	1.53	1.97	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Cuarto tableros)	216 lx	6.76 lx	334 lx	32.0	49.4	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Recepción)	315 lx	199 lx	404 lx	1.58	2.03	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 300 lx) ✓					
Plano útil (Cambiador de pañales1)	221 lx	24.2 lx	323 lx	9.13	13.3	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (SS1 Mujeres)	257 lx	88.0 lx	386 lx	2.92	4.39	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (SS1 disc.1)	251 lx	136 lx	329 lx	1.85	2.42	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓					
Plano útil (Enfermería)	671 lx	327 lx	840 lx	2.05	2.57	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx) ✓					
Plano útil (Cuarto aseo)	292 lx	234 lx	353 lx	1.25	1.51	<input type="checkbox"/>

Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						—
Plano útil (Bodega aseo)	226 lx	73.1 lx	295 lx	3.09	4.04		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						
Plano útil (SS1 mingitorio)	315 lx	208 lx	405 lx	1.51	1.95		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						
Plano útil (Cambiador de pañales2)	221 lx	34.8 lx	323 lx	6.35	9.28		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						
Plano útil (SS1 Hombres)	270 lx	73.4 lx	438 lx	3.68	5.97		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						
Plano útil (SS1 disc.2)	252 lx	136 lx	329 lx	1.85	2.42		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						
Plano útil (Cuarto testigos 1)	664 lx	453 lx	837 lx	1.47	1.85		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx) ✓						
Plano útil (Sala juicios 1)	647 lx	431 lx	809 lx	1.50	1.88		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx) ✓						
Plano útil (Sala juicios 2)	642 lx	428 lx	804 lx	1.50	1.88		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx) ✓						
Plano útil (Lactancia)	226 lx	11.1 lx	328 lx	20.4	29.5		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						
Plano útil (Comedor)	263 lx	108 lx	382 lx	2.44	3.54		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						
Plano útil (SS personal mujeres disc.)	239 lx	96.4 lx	321 lx	2.48	3.33		<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx) ✓						

Plano útil (SS personal mujeres)	234 lx	82.1 lx	350 lx	2.85	4.26	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS personal hombres)	272 lx	99.8 lx	413 lx	2.73	4.14	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Vestíbulo sanitarios)	137 lx	17.9 lx	289 lx	7.65	16.1	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS2 Mujeres)	258 lx	142 lx	333 lx	1.82	2.35	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS2 Hombres)	254 lx	136 lx	330 lx	1.87	2.43	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cuarto testigos 2)	663 lx	453 lx	849 lx	1.46	1.87	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Archivo 3)	213 lx	151 lx	275 lx	1.41	1.82	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 05)	502 lx	293 lx	715 lx	1.71	2.44	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 06)	515 lx	329 lx	691 lx	1.57	2.10	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 07)	513 lx	304 lx	697 lx	1.69	2.29	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 08)	627 lx	432 lx	807 lx	1.45	1.87	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 09)	631 lx	429 lx	809 lx	1.47	1.89	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Plano útil (Archivo 4)	216 lx	154 lx	275 lx	1.40	1.79	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 10)	631 lx	438 lx	808 lx	1.44	1.84	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 11)	625 lx	422 lx	794 lx	1.48	1.88	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 4)	229 lx	73.5 lx	330 lx	3.12	4.49	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 04)	634 lx	323 lx	945 lx	1.96	2.93	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 05)	614 lx	327 lx	837 lx	1.88	2.56	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 03)	646 lx	378 lx	951 lx	1.71	2.52	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 02)	648 lx	331 lx	962 lx	1.96	2.91	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 01)	641 lx	354 lx	942 lx	1.81	2.66	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala espera 2)	313 lx	167 lx	383 lx	1.87	2.29	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 06)	667 lx	316 lx	961 lx	2.11	3.04	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 07)	646 lx	373 lx	953 lx	1.73	2.55	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Plano útil (Sala espera 3)	291 lx	143 lx	405 lx	2.03	2.83	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 08)	659 lx	343 lx	956 lx	1.92	2.79	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala espera 4)	268 lx	117 lx	388 lx	2.29	3.32	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala espera 1)	324 lx	171 lx	411 lx	1.89	2.40	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 3)	268 lx	13.6 lx	427 lx	19.7	31.4	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 5)	244 lx	20.7 lx	365 lx	11.8	17.6	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 1 y vestíbulo)	236 lx	10.9 lx	459 lx	21.7	42.1	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 2)	276 lx	47.5 lx	457 lx	5.81	9.62	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Anexo M: Lista de luminarias del proyecto de oficinas en tecnología led.

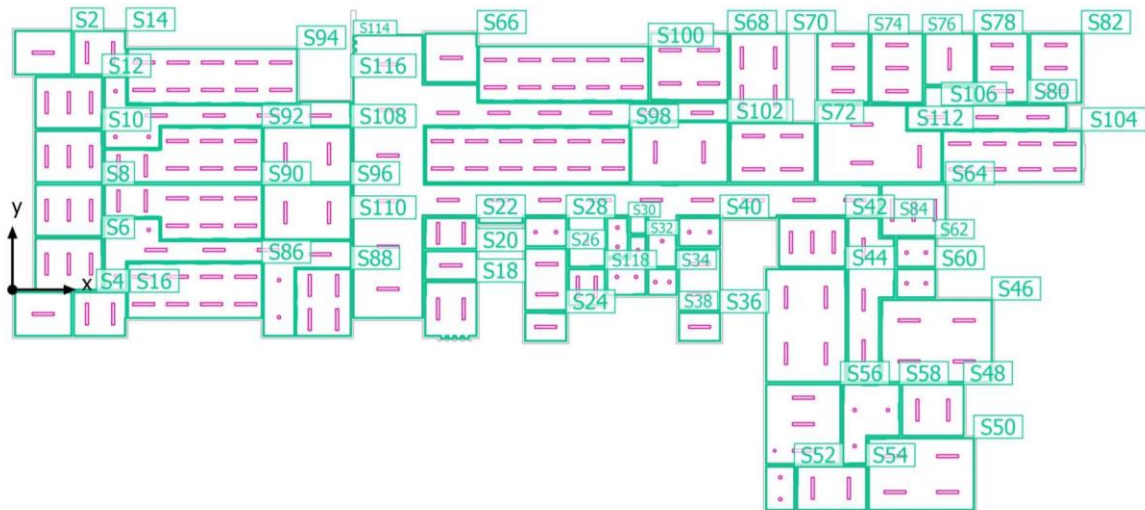
Lista de luminarias

Φ_{total}	P_{total}	Rendimiento lumínico				
989775 lm	7305.6 W	135.5 lm/W				
67	FEILO	UL705 48 2 3000L 25W 4K	De Sobreponer o Colgar/ Iluminación General	25.0 W	3418 lm	136.7 lm/W
119	FEILO	UL705 48 2 5000L 40W 4K	De Sobreponer o Colgar/ Iluminación General	40.0 W	5592 lm	139.8 lm/W
8	FEILO	UL705 48 4 7000L 50W 4K	De Sobreponer o Colgar/ Iluminación General	50.0 W	7416 lm	148.3 lm/W
30	HAVELLS SYLVANIA S.A.		SYL LIGHTER 15W 4000K	15.4 W	1182 lm	76.7 lm/W
1	SYLVANIA	INTERIOR	EMPOTRAR	8.6 W	533 lm	62.0 lm/W

Anexo N: Resultado de cálculo de iluminación del edificio completo de proyecto de oficinas led.

Edificio corte · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo



Edificio corte · Planta (nivel) 1

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	\bar{E}/E_{\min}	E_{\max}/E_{\min}	Índice
Plano útil (Archivo 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	221 lx (≥ 200 lx)	129 lx	400 lx	1.71	3.10	<input type="checkbox"/>
Plano útil (Archivo 2) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	221 lx (≥ 200 lx)	126 lx	386 lx	1.75	3.06	<input type="checkbox"/>
Plano útil (Oficina 04) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	601 lx (≥ 500 lx)	410 lx	769 lx	1.47	1.88	<input type="checkbox"/>
Plano útil (Oficina 03) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	597 lx (≥ 500 lx)	406 lx	760 lx	1.47	1.87	<input type="checkbox"/>

Plano útil (Oficina 02)	601 lx	407 lx	769 lx	1.48	1.89	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx)					
	✓					
Plano útil (Oficina 01)	601 lx	410 lx	768 lx	1.47	1.87	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 500 lx)					
	✓					
Plano útil (Sala fotocopiado 1)	426 lx	48.1 lx	632 lx	8.86	13.1	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 300 lx)					
	✓					
Plano útil (Sala fotocopiado 2)	422 lx	9.75 lx	632 lx	43.3	64.8	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 300 lx)					
	✓					
Plano útil (Cuarto telemática)	284 lx	176 lx	375 lx	1.61	2.13	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)					
	✓					
Plano útil (Cuarto tableros)	295 lx	106 lx	421 lx	2.78	3.97	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)					
	✓					
Plano útil (Recepción)	368 lx	192 lx	470 lx	1.92	2.45	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 300 lx)					
	✓					
Plano útil (Cambiador de pañales1)	218 lx	149 lx	262 lx	1.46	1.76	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)					
	✓					
Plano útil (SS1 Mujeres)	229 lx	111 lx	311 lx	2.06	2.80	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)					
	✓					
Plano útil (SS1 disc.1)	210 lx	97.6 lx	260 lx	2.15	2.66	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)					
	✓					
Plano útil (Cuarto aseo)	243 lx	183 lx	288 lx	1.33	1.57	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	(≥ 200 lx)					
	✓					

Plano útil (Bodega aseo)	228 lx	132 lx	297 lx	1.73	2.25	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS1 mingitorio)	284 lx	133 lx	379 lx	2.14	2.85	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cambiador de pañales2)	213 lx	132 lx	259 lx	1.61	1.96	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS1 Hombres)	239 lx	95.1 lx	432 lx	2.51	4.54	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS1 disc.2)	211 lx	106 lx	260 lx	1.99	2.45	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cuarto testigos 1)	627 lx	433 lx	791 lx	1.45	1.83	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala juicios 1)	545 lx	318 lx	684 lx	1.71	2.15	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala juicios 2)	542 lx	309 lx	679 lx	1.75	2.20	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Lactancia)	242 lx	9.88 lx	337 lx	24.5	34.1	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Comedor)	284 lx	130 lx	352 lx	2.18	2.71	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS personal mujeres disc.)	202 lx	95.1 lx	251 lx	2.12	2.64	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS personal mujeres)	218 lx	89.1 lx	299 lx	2.45	3.36	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Plano útil (SS personal hombres)	224 lx	57.6 lx	396 lx	3.89	6.88	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Vestíbulo sanitarios)	151 lx	73.5 lx	203 lx	2.05	2.76	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 100 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS2 Mujeres)	217 lx	107 lx	269 lx	2.03	2.51	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (SS2 Hombres)	218 lx	116 lx	268 lx	1.88	2.31	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cuarto testigos 2)	628 lx	428 lx	798 lx	1.47	1.86	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Archivo 3)	280 lx	198 lx	371 lx	1.41	1.87	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 05)	602 lx	393 lx	728 lx	1.53	1.85	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 06)	612 lx	398 lx	747 lx	1.54	1.88	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 07)	610 lx	393 lx	748 lx	1.55	1.90	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 08)	595 lx	400 lx	762 lx	1.49	1.91	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 09)	595 lx	404 lx	767 lx	1.47	1.90	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Archivo 4)	285 lx	202 lx	374 lx	1.41	1.85	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Plano útil (Oficina 10)	593 lx	412 lx	756 lx	1.44	1.83	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Oficina 11)	591 lx	392 lx	761 lx	1.51	1.94	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 4)	232 lx	124 lx	291 lx	1.87	2.35	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 04)	709 lx	393 lx	969 lx	1.80	2.47	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 05)	673 lx	399 lx	843 lx	1.69	2.11	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 03)	717 lx	415 lx	1020 lx	1.73	2.46	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 02)	720 lx	467 lx	1013 lx	1.54	2.17	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 01)	725 lx	451 lx	980 lx	1.61	2.17	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala espera 2)	281 lx	153 lx	351 lx	1.84	2.29	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 06)	764 lx	478 lx	1043 lx	1.60	2.18	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Cubículos 07)	724 lx	450 lx	991 lx	1.61	2.20	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala espera 3)	257 lx	118 lx	346 lx	2.18	2.93	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					

Plano útil (Cubículos 08)	743 lx	412 lx	1005 lx	1.80	2.44	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala espera 4)	208 lx	88.7 lx	293 lx	2.34	3.30	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Sala espera 1)	290 lx	148 lx	361 lx	1.96	2.44	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 3)	263 lx	12.2 lx	375 lx	21.6	30.7	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 5)	238 lx	25.8 lx	311 lx	9.22	12.1	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 1 y vestíbulo)	234 lx	17.5 lx	409 lx	13.4	23.4	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Circulación 2)	282 lx	175 lx	385 lx	1.61	2.20	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 200 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					
Plano útil (Enfermería)	667 lx	344 lx	784 lx	1.94	2.28	<input type="checkbox"/>
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)					
Altura: 0.760 m, Zona marginal: 0.000 m	✓					