

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**Propuestas de uso racional y eficiente de la energía para reducir el consumo de energía y mejorar las condiciones técnico- operativas del sistema de iluminación de la planta de manufactura de una fábrica ensambladora de ascensores.**

Wilton Gabriel Grisales Jaramillo

Andrés Ramiro Patiño

Ingeniería Electromecánica

Luis Fernando Grisales Noreña

Juan Diego Betancur Gómez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Octubre de 2019

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Resumen

Durante el tiempo que llevan laborando los autores de este proyecto de grado en una empresa metalmeccánica dedicada a ensamblar ascensores, de la cual no se menciona su nombre para evitar inconvenientes legales, se detectó la necesidad de implementar un plan de uso racional de la energía (URE) dentro del sistema de iluminación de la planta de manufactura, para mejorar su eficiencia energética. Las tecnologías de los dispositivos instalados en estas áreas y sus niveles de iluminación son deficientes desde el punto de vista técnico-operativo; convirtiendo estos sistemas en un punto estratégico y de gran potencial para mejorar la eficiencia energética de la empresa. Por lo cual, este proyecto de grado fue orientado a calcular el estado técnico-operativo del sistema de iluminación, y plantear estrategias de ahorro y uso racional de la energía que permitan su operación eficiente, respetando la normatividad técnica colombiana. Para estimar el consumo energético y las condiciones técnico-operativas del sistema de iluminación se utilizaron los planos arquitectónicos, las tecnologías instaladas y los horarios de operación de los equipos, estos últimos obtenidos por encuesta. Basados en la información adquirida, se realizó el análisis energético del sistema actual de iluminación de la planta de manufactura, y se recomiendan estrategias de URE con su debida justificación desde la viabilidad técnica; que permitan reducir los costos asociados al consumo de energía eléctrica de la empresa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **Reconocimientos**

En primer lugar, a DIOS por estar de nuestro lado y darnos la sabiduría para aprovechar las oportunidades, y la suerte de estar en el lugar indicado.

A nuestros padres y familiares por brindarnos su sincero apoyo incondicional y moral.

A los docentes Luis Grisales y Juan Betancur, que nos guiaron y colaboraron a desarrollar y materializar este trabajo de grado. También por la paciencia y la colaboración incondicional en todo el proceso.

A nuestros amigos y compañeros colaboradores quienes a medida que el tiempo pasaba nos colaboraron de una forma honesta y desinteresada, para culminar este proyecto que nos convertirá en profesionales con la responsabilidad de crear un mundo mejor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Acrónimos

**URE** Uso racional de energía

**RETILAP** Reglamento técnico de iluminación y alumbrado

**EPP** Elementos de protección personal

**IESNA** Illuminating engineering society of North America

**LED** Light Emitting Diode (diodo emisor de luz)

**IRC** Índice de reproducción cromática

**LM** Lumen

**IPC** Índice de precios al consumidor

**ROI** Return On Investment (retorno de la inversión)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Tabla de contenido

1.	Introducción.....	11
2.	Marco teórico .....	14
2.1.	Uso racional de la energía (URE):.....	14
2.2.	Sistema de iluminación.....	15
2.3.	Reglamento técnico colombiano para iluminación y alumbrado público - RETILAP 22	
2.4.	Software diseño para sistemas de iluminación DIALux evo.....	27
3.	Metodología.....	30
3.1.	Análisis del sistema de iluminación.....	30
3.1.1.	Descripción planta de manufactura. ....	30
3.1.2.	Tipo de luminaria instalada en la planta de manufactura. ....	34
3.1.3.	Niveles de iluminación para las zonas de trabajo asignados por el RETILAP. 48	
3.2.	Metodología para diseño del sistema de iluminación en el software DIALux- evo 50	
3.2.1.	Procedimiento para el cálculo de potencia consumida por el sistema de iluminación y costo de inversión.....	56
4.	Resultados y discusión .....	60
4.1.	Resultado de diseño de iluminación aplicando el software especializado DIALux evo. ....	60
4.2.	Análisis económico de casos de iluminación considerados para la planta de manufactura.....	67
4.2.1.	Análisis costos de operación caso base .....	68
4.2.2.	Análisis costos de operación caso 1 .....	71
4.2.3.	Análisis costos de operación caso 2 .....	73
4.2.4.	Costos de inversión inicial y de mano de obra para cada caso.....	75
4.2.5.	Costos cambio de luminarias.....	78
4.3.	Comparación entre los resultados obtenidos para cada caso. ....	80
4.3.1.	Comparativo de costos por operación y reposición: costos operativos.....	81
4.3.2.	Análisis de retorno de inversión.....	82
5.	Conclusiones .....	85

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6.	Recomendaciones .....	87
7.	Referencias .....	88
8.	Anexos .....	91

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Lista de tablas

Tabla 1. Tipo de luminarias y potencia instalada.....	35
Tabla 2 Niveles de iluminación.....	49
Tabla 3. Cantidad de días hábiles trabajados por año .....	57
Tabla 4. Tipo de luminarias caso 2.....	61
Tabla 5. Tabla comparativa diseño de luminarias .....	63
Tabla 6. Factor utilización diario para cada zona de trabajo caso base.....	68
Tabla 7. Días hábiles del año 2019 para la compañía .....	69
Tabla 8. Consumo y costo de operación caso base [kWh - COP].....	70
Tabla 9. Factor utilización diario para cada zona de trabajo caso 1 .....	71
Tabla 10. Consumo y costo de operación caso 1 [kWh - COP].....	72
Tabla 11. Factor utilización diario para cada zona de trabajo.....	74
Tabla 12. Consumo y costo de operación caso 2 [kWh - COP].....	74
Tabla 13. Tabla costos de inversión con ajuste técnico operativo bajo DIALux evo .....	76
Tabla 14. Vida útil de luminarias .....	78
Tabla 15. Acumulado por años uso lámparas de acuerdo al factor de utilización .....	79
Tabla 16. Número de lámparas requeridas a cambiar por año .....	79
Tabla 17. Costo reposición de lámparas por año [COP] .....	80
Tabla 18. Tabla comparativo de costos por operación y reposición .....	81
Tabla 19. Retorno de inversión (ahorro por costos de operación) .....	83

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Lista de figuras

Ilustración 1. Plano arquitectónico.....	30
Ilustración 2. Zonas de distribución.....	31
Ilustración 3. Factor utilización zona 1 .....	37
Ilustración 4. Factor utilización zona 2 .....	38
Ilustración 5. Factor utilización zona 3 .....	39
Ilustración 6. Factor utilización zona 4 .....	40
Ilustración 7. Factor utilización zona 5 .....	41
Ilustración 8. Factor utilización zona 6 .....	42
Ilustración 9. Factor utilización zona 7 .....	43
Ilustración 10. Factor utilización zona 8.....	44
Ilustración 11. Factor utilización zona 9 .....	45
Ilustración 12. Factor utilización zona 10.....	46
Ilustración 13. Factor utilización zona 11 .....	47
Ilustración 14. Distribución de zonas de trabajo .....	50
Ilustración 15. Parametrización de cada zona de trabajo .....	51
Ilustración 16. Representación plano útil para zona de trabajo .....	52
Ilustración 17. Representación plano instalación luminarias.....	52
Ilustración 18. Configuración de lámpara.....	53
Ilustración 19. Instalación de luminarias .....	54
Ilustración 20. Cálculo sobre el plano de trabajo.....	55
Ilustración 21. Distribución de luminarias caso base.....	62



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ilustración 22. Cálculo de iluminancias del software DIALux-evo caso base.....	64
Ilustración 23. Distribución de luminarias caso 1 .....	65
Ilustración 24. Cálculo de iluminancias del software DIALux-evo caso 1 .....	65
Ilustración 25. Distribución de luminarias caso 2 .....	66
Ilustración 26. Cálculo de iluminancias del software DIALux-evo caso 2.....	67
Ilustración 27. Potencia por día requerida por el sistema de iluminación en el caso base.....	70
Ilustración 28. Potencia por día requerida por el sistema de iluminación en el caso 1 .....	73
Ilustración 29. Consumo total por día del sistema de iluminación del caso 1 .....	75
Ilustración 30. Comparativo de costos por operación y reposición .....	82
Ilustración 31. Comparativo costos de operación .....	84

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Lista de anexos

Anexo 1. Datos técnicos lámpara (tubo) fluorescente Sylvania T8 32W .....	91
Anexo 2. Datos técnicos lámpara (tubo) fluorescente T5 54w Sylavania .....	93
Anexo 3. Datos técnicos lámpara (tubo) LED T8 18w Sylvania .....	94
Anexo 4. Datos técnicos lámpara (tubo) LED T5 25w Sylvania .....	95
Anexo 5. Tabla de seguimiento para luminarias encendidas .....	96
Anexo 6. Factor de utilización por zona .....	98
Anexo 7. Distribución de luminarias caso base .....	100

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. Introducción

En la actualidad el consumo de energía eléctrica es fundamental para todas las personas, llegando al punto de que una sociedad moderna no puede concebirse sin el uso de la electricidad, debido que, con la utilización de esta, realizamos gran parte de nuestras actividades cotidianas y gracias a ella se puede tener una mejor calidad de vida.

La energía eléctrica es un pilar fundamental para el desarrollo industrial, ya que es empleada en la mayoría de los procesos industriales. Por este motivo el sector industrial busca constantemente opciones de mejora para la optimización de sus procesos productivos, con el fin de lograr alcanzar cada día una mayor eficiencia energética, buscando satisfacer las necesidades del consumidor final y mantener el liderazgo en el mercado. El uso racional y eficiente de la energía es considerado como un objetivo ambiental en todo tipo de industria.

Reconociendo la importancia de los procesos energéticos eficientes dentro del sector industrial y como impactan estos las sociedad y el medio ambiente, la empresa ensambladora de ascensores analizada en este proyecto de investigación busca reducir la demanda de energía eléctrica, cumpliendo con los requisitos establecidos según la normatividad, mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y los niveles de pérdidas, y posteriormente definir soluciones eficientes de mejora y proyectos que generen ahorro.

En busca de alcanzar el objetivo de la empresa, los autores de este trabajo identificaron que, el sistema de iluminación de la planta de manufactura es un sistema de baja eficiencia y calidad, el cual presenta un alto consumo de energía. Por lo cual, dicho sistema se considera un excelente

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

candidato a la aplicación de estrategias de URE. En busca de mejorar las condiciones técnicas y de consumo eléctrico del sistema de iluminación de la planta de manufactura, en este proyecto de investigación se plantearon los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

Realizar el análisis energético del sistema de iluminación de una planta ensambladora de ascensores, con el fin proponer estrategias de URE que permitan reducir el consumo energético y mejorar sus condiciones técnico-operativas.

**Objetivos específicos:**

- Realizar el análisis energético del sistema de iluminación de la planta de manufactura.
- Verificar las condiciones técnicas del sistema de iluminación actual de la planta de manufactura empleando el software especializado DIALUX EVO.
- Proponer estrategias de uso racional de la energía que permitan mejorar las condiciones técnicas y de consumo energético del sistema de iluminación con base en los reglamentos técnicos y mediciones realizadas.

Este documento está organizado de la siguiente manera. En la sección dos se presenta el marco teórico del trabajo. En la sección 3 se presenta la metodología de diseño del sistema de iluminación y formulación matemática empleada para el cálculo de los costos de inversión y operación asociadas a este. La sección 4 presenta los resultados obtenidos al emplear la metodología de diseño propuesta y evaluar los costos totales en los diferentes escenarios para satisfacer los

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

criterios técnicos colombianos y reducir el costo operativo. Finalmente, la sección 6 se presenta las conclusiones y trabajos futuros, seguidos de las referencias y anexos relacionados a este trabajo de investigación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. Marco teórico

### 2.1. Uso racional de la energía (URE):

El uso racional de la energía (URE) es un concepto aplicado internacionalmente que busca ahorrar y maximizar el aprovechamiento de los recursos renovables y no renovables, principalmente en las diferentes actividades asociadas al humano y a su entorno. En la actualidad el hombre basa su tecnología en la electricidad y existen diferentes maneras de conseguirlo. Una de las principales fuentes son los productos derivados del petróleo, siendo este un recurso no renovable. Los diferentes países de manera conjunta han planeado y estructurado de forma continua diferentes estrategias y políticas internas que tengan como objetivo regular el aprovechamiento óptimo de la energía en sus diversas formas de uso y en todos los niveles de consumo. Para la república de Colombia se decretó la ley 627 de 2001 (Congreso de la república de Colombia, 2001, pág. 1).

El URE es un pilar fundamental del desarrollo sostenible en la industria. Además, no hay ninguna actividad del humano que no sea susceptible de intervención y mejora continua a toda escala, con el objetivo de ser más eficientes, proteger y preservar de manera directa el medio ambiente.

De esta manera el URE se debe aplicar desde la selección misma de la fuente de energía, transformación de materia prima, transporte, distribución e incluso la conversión de productos desechados en activos mediante reciclaje. El objetivo actual de estas políticas está enfocado al uso eficiente y eficaz de la energía, que al final se demuestra con la disminución de consumo de las diferentes cadenas energéticas.

Por otro lado, a nivel del territorio Colombiano se cuenta con la normativa y las políticas que se están implementando sobre el URE, se decreta que “La cadena energética, es el conjunto de

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

todos los procesos y actividades tendientes al aprovechamiento de la energía que comienza con la fuente energética misma y se extiende hasta su uso final.” (Alcaldía mayor de Bogotá, 2012, pág. 1).

## **2.2. Sistema de iluminación.**

En esta propuesta de investigación se analizará, el sistema de iluminación asociado a la planta de manufactura de una empresa ensambladora de ascensores, para lo cual es necesario identificar las partes que componen un sistema de iluminación y la normatividad que lo rige en Colombia. Se utilizará un software especializado para su simulación, en este caso el programa DIALUX EVO.

Un sistema de iluminación se refiere al conjunto de dispositivos que se instalan para producir ciertos efectos luminosos, tanto prácticos como decorativos; cumpliendo los requerimientos técnicos de cada espacio en particular. Según la resolución 180540 expedida por el ministerio de minas y energía de la república de Colombia, se define un Sistema de iluminación como: “Componentes de la instalación de iluminación y sus interrelaciones para su operación y funcionamiento.” (ministerio de minas y energía, 2010, pág. 22).

La iluminación es un eje fundamental para la sociedad y con ella se pretende en primer lugar, conseguir un nivel de iluminación interior o exterior adecuado para todo tipo de población, y segundo cumplir con los criterios de diseño y estética solicitados por los usuarios finales, siendo esto último de libre elección y no especificado por la norma.

Adicionalmente, cuando se habla de diseño de sistemas de iluminación son varios los factores a tener en cuenta a la hora de seleccionar una iluminación adecuada, incluyendo la tecnología de iluminación, que será determinante para su consumo. Es importante mencionar que algunas de las características a seleccionar dependen del uso al que esté destinada la luminaria. Dentro de los factores más importantes a la hora de seleccionar una luminaria para un espacio de trabajo en

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

particular se encuentran su potencia, el color de la luz, el flujo lumínico, la apertura de la luz, vida media y otros datos que serán descritos a continuación:

**Potencia:** la potencia eléctrica es una magnitud que mide la energía consumida o generada en la unidad de tiempo. Los aparatos de mayor potencia son los que disipan mayor cantidad de energía por unidad de tiempo, es decir, los que más consumen. En términos generales esta variable indica la cantidad de electricidad que necesita para funcionar en vatios (w) (Orza Couto, 2016, pág. 9); Según esto a mayor potencia necesite para funcionar la luminaria, mayor será su consumo energético. Es importante resaltar que esta información está especificada dentro de los datos de placa en la luminaria suministrado por el fabricante.

**Color de la luz:** en función de la temperatura a la que funcione la bombilla emitirá luz de un color diferente, desde colores más cálidos (2.000 - 3.000K), idóneos para zonas de descanso como salones o dormitorios, y colores más fríos (5.000 - 7.000K), más adecuados para despachos, cocinas y baños. Pueden encontrarse bombillas con valores intermedios de luz blanca. (Asociación de ciencia ambientales ACA, 2016).

**Flujo lumínico:** es la cantidad de luz que aporta la bombilla, se expresa en lúmenes (lm), y cuanto mayor sea, mayor cantidad de luz aporta. Lo más habitual es que se indique la eficiencia lumínica, es decir, los lúmenes por unidad de potencia: lm/W. Para comparar bombillas de distintas potencias únicamente habrá que multiplicar la eficiencia lumínica de cada bombilla por su potencia para conocer cuál aporta mayor flujo lumínico. (Asociación de ciencia ambientales ACA, 2016).

**Ángulo de apertura:** es el ángulo que tiene el haz de luz que proviene de la luminaria; Algunas bombillas como las LED, dan una luz focalizada con ángulos entre 40° y 120° entre mayor sea el ángulo, menor será el efecto foco y mejor la iluminación de la sala.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Vida útil:** es el tiempo estimado en horas después del cual es preferible sustituir las lámparas de una instalación para evitar una disminución excesiva de los niveles de iluminación.

**Luminaria:** una lámpara o bombilla es un convertidor de energía cuya función principal es transformar la energía eléctrica en luz. Actualmente en el mercado existe una gran variedad de lámparas con diferentes características y funcionamientos. (Endesa Educa, 2019)

Existen diferentes parámetros para definir las características de una luminaria, los parámetros que definen la calidad de una buena iluminación dependen de la finalidad de esta y del lugar, en todo caso han de responder a ciertas exigencias comunes como las siguientes: (Endesa Educa, 2019).

**Lumen (lm):** unidad que mide la cantidad de luz emitida.

**Rendimiento de color (IRC):** los colores que vemos dependen de las características cromáticas de la fuente de luz. Así, el IRC señala la capacidad de una fuente de luz artificial en reproducir los colores, siendo la referencia (100%) el Sol.

**Eficiencia o rendimiento luminoso:** Cantidad de luz emitida (lm) por unidad de potencia eléctrica consumida (W).

En la actualidad se cuenta con tecnología para producir luz con grandes eficiencias, con la invención de las lámparas la iluminación artificial se convirtió en una fuente esencial para la sociedad moderna (Endesa Educa, 2019), debido a esto a través del tiempo se fueron reinventando y modernizando diversos e innovadores sistemas como los siguientes:

**Lámparas incandescentes:** las lámparas incandescentes están formadas por un hilo de tungsteno (Wolframio) que se calienta por efecto Joule (Hernández, 2003) consiguiendo temperaturas tan elevadas que empiezan a emitir luz visible. Para evitar que el filamento se quemara (en contacto con el aire que lo oxidaría) se envuelve en una botella de cristal que se llena

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

con un gas para evitar la evaporación del filamento y dejar el globo negro. En general, el rendimiento de este tipo de lámpara es bajo, porque la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. Las lámparas incandescentes según su funcionamiento se dividen en tres diferentes tipos de luminarias que son lámparas halógenas, lámparas no alógenas y lámparas de descarga. Los tipos principalmente empleados se describen a continuación:

**Lámparas halógenas:** contienen una pequeña cantidad de gas ( $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ), que crea un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. El funcionamiento de estas lámparas necesita temperaturas muy elevadas para que se pueda producir el ciclo del halógeno. Por esta razón son más pequeñas y compactas que las lámparas no halógenas y las botellas se fabrican con un cristal de cuarzo que resiste mejor las temperaturas elevadas.

**Lámparas no halógenas:** dentro de este grupo encontramos las lámparas que tienen vacío en la botella o las que contienen un gas. Estas lámparas tienen las siguientes características:

- Una duración normalizada de 1000 h.
- Un rendimiento realmente bajo entre 12 y 18 lm/W (únicamente convierten en luz aproximadamente un 15% de la energía eléctrica que consumen).
- Un IRC cercano al 100%.

En la actualidad, las lámparas de vacío prácticamente no se utilizan. Con el paso del tiempo se puede producir el ennegrecimiento de la botella a causa de la evaporación de las partículas del tungsteno que forman el filamento.

**Lámparas halógenas:** contienen una pequeña cantidad de gas ( $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ), que crea un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. El funcionamiento de estas lámparas necesita temperaturas muy elevadas para que se pueda producir el ciclo del halógeno. Por esta razón son más pequeñas y compactas que las lámparas no halógenas y las botellas se fabrican con

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

un cristal de cuarzo que resiste mejor las temperaturas elevadas. Tienen una duración de 1.500h, un rendimiento aproximado de 20 lm/W y un IRC también muy cercano al 100%.

**Lámparas de descarga:** las lámparas de descarga es una forma alternativa de producir luz de un modo más eficiente y económico que las lámparas incandescentes. En este caso la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno de gas, existiendo entre los electrodos un diferencial de potencia que provoca las descargas eléctricas necesarias para conseguir luz.

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado o la presión del gas. Según esto se clasifican en:

- Lámparas fluorescentes y fluorescentes compactas
- Lámparas de vapor de mercurio de alta
- Lámparas de vapor de sodio

**Lámparas fluorescentes:** también conocidas como de vapor de mercurio de baja, no tiene botella exterior y están formadas por un tubo cilíndrico cerrado en cada uno de sus extremos donde se sitúan los electrodos; El tubo de descarga está lleno de vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de gas que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de los electrodos. La duración de estas lámparas se sitúa entre 5.000 y 10.000 horas. El rendimiento en color de estas lámparas es aproximadamente del 70%.

**Lámparas fluorescentes compactas:** llevan incorporados los elementos auxiliares para facilitar el encendido y para limitar la corriente. Son lámparas pequeñas, pensadas para sustituir las lámparas incandescentes con un ahorro energético que puede llegar al 70% y con muy buenas prestaciones (entre los 70 lm/W y un IRC que puede llegar al 90%).

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Lámparas de vapor de mercurio a alta presión:** este tipo de luminarias se activan cuando se aumenta la presión de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de las lámparas de baja presión pierde importancia respecto las emisiones en la zona visible. Con estas condiciones la luz emitida es de color azul-verde; Para solucionar este problema se acostumbra añadir sustancias fluorescentes para mejorar las características cromáticas de la lámpara. La vida útil de este tipo de lámparas es de unas 8.000 horas. Este tipo de luminarias se subdivide en dos tipos: Lámparas de luz de mezcla y Lámparas con halogenuros metálicos.

**Lámparas de luz de mezcla:** son la mezcla de una lámpara de mercurio a alta presión y de una lámpara incandescente, además cuentan con un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla ofrece una buena reproducción del color y su duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la causa principal de fallos; En general su vida media se sitúa alrededor de las 6.000 horas.

**Lámparas con halogenuros metálicos:** si a los tubos de descarga añadimos yoduros metálicos, se consigue una mejor capacidad de reproducir los colores de las lámparas de vapor de mercurio. La vida media de estas lámparas está cerca de las 10.000 horas y necesitan 10 minutos para encenderse, este es el tiempo necesario para que establezca la descarga. Por su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, ya que las tensiones que necesitan al inicio son muy elevadas. Sus características cromáticas las hacen adecuadas para la iluminación de las instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, entre otros.

**Lámparas de vapor de sodio:** este tipo de luminarias fueron una de las fuentes de iluminación más eficientes y se subdivide en lámparas de vapor de sodio a baja presión y en lámparas de vapor de sodio a alta presión.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Lámparas de vapor de sodio a baja presión:** la descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión, produce una radiación monocromática característica. El tubo de descarga tiene forma de U para reducir las pérdidas de calor y el tamaño de la lámpara. Los tubos se fabrican con materiales muy resistentes porque el sodio es muy corrosivo y se cierra en una botella en la que se ha realizado el vacío para aumentar el aislamiento térmico.

Estas lámparas ofrecen comodidad visual y una buena percepción de los contrastes, la vida media de estas lámparas es muy larga, sobre 15.000 horas, y su vida útil es de entre 6.000 y 8.000 horas. Se acostumbra a utilizar para el alumbrado público, pero también con finalidades decorativas.

**Lámparas de vapor de sodio a alta presión:** proporcionan una luz blanca dorada, mucho más agradable que la que proporcionan las lámparas de baja presión y tienen mejor capacidad para reproducir los colores. La vida media de estas lámparas es de 20.000 horas y su vida útil está entre 8.000 y 12.000 horas; En su interior hay una mezcla de sodio y vapor de mercurio, para amortiguar la descarga que sirve para facilitar el encendido de la lámpara y reducir las pérdidas térmicas. Este tipo de lámparas tiene muchas aplicaciones, tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Se acostumbra a utilizar en la iluminación de naves industriales, en el alumbrado público o en iluminación decorativa.

**Lámparas led:** se trata de un cuerpo semiconductor sólido de gran resistencia que, al recibir una corriente eléctrica de baja intensidad, emite luz de forma eficiente y con alto rendimiento. Los componentes electrónicos permiten el paso de la corriente en un solo sentido. La palabra viene del inglés “Light Emitting Diode”, que traducido al español es Diodo Emisor de Luz.

El uso de lámparas basadas en la tecnología LED, actualmente domina y desplaza las demás tecnologías en el mercado mundial por su alto desempeño lumínico y bajo consumo, entre un 50

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

y 70% menos de consumo en comparación a la iluminación fluorescente. Se encuentran hoy luminarias con una vida útil de hasta 100.000 horas, y presentan una mayor estabilidad energética.

Los LED poseen 4 componentes básicos de su estructura. Estos son:

- Material emisor semiconductor, montado en un chip-reflector. Este material determina el color de la luz.
- Los postes conductores (cátodo y ánodo).
- El cable conductor que une los dos polos.
- Un lente que protege al material emisor del LED y determina el haz de la luz. Éstos poseen polaridad (siendo el ánodo el terminal positivo y el cátodo el terminal negativo), por lo que funcionan únicamente al ser polarizados en directo.

Algunas características más concretas de este sistema de iluminación son:

- Su rendimiento es superior a otras lámparas: 100-150 lm/W.
- Su vida útil se encuentra entre las 50.000 y 100.000 horas.
- Su IRC es de aproximadamente el 90%.
- Conllevan menos riesgo para el medio ambiente.

### **2.3. Reglamento técnico colombiano para iluminación y alumbrado público - RETILAP**

El reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP) empezó a regir en Colombia el 1 de abril del año 2010, bajo la resolución 180540, estatuto expedido por el ministerio de minas y energía, para las empresas que trabajan en el sector de iluminación y el alumbrado público. Bajo este reglamento técnico de iluminación y alumbrado público se pretende establecer las reglas generales que se deben tener en cuenta en los sistemas de iluminación interior,

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

exterior, privado y público, en el territorio colombiano inculcando el uso racional del sistema de iluminación y el uso eficiente de la energía. Uno de los objetivos fundamentales que tiene el (RETILAP) es establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, interesados en garantizar los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y el compromiso con el medio ambiente, mediante la prevención, la minimización y la eliminación de los riesgos originados por la instalación y el uso de sistema de iluminación. Según lo dispuesto en la resolución 180540 del 2010 deben de cumplir con dicha normatividad tanto personas como productos de utilización en alumbrado público (Ministerio de minas y energía, 2010). Adicionalmente, el ministerio de minas y energía en el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público especifica quienes deben de tener cumplimiento con esta normatividad indicando que son: las personas y productos quienes deben de regir en el cumplimiento de esta.

**Personas:** este reglamento lo deben cumplir todas las personas naturales o jurídicas que diseñen, construyan, mantengan y ejecuten, actividades relacionadas con instalaciones de iluminación y alumbrado Público. Aplica también para fabricantes, importadores y comercializadores de los productos objeto del reglamento. El responsable del diseño deberá entregar un documento suscrito y firmado por él, donde se manifieste que el diseño cumple los requisitos aplicables del RETILAP, y responderá por los efectos de esa iluminación. (Ministerio de minas y energía, 2010, pág. 11).

**Productos:** son objeto del presente reglamento los productos usados en sistemas de iluminación contemplados en la Tabla 110-3.1 del reglamento, los cuales son de mayor utilización en iluminación y alumbrado público. Están directamente relacionados con el objeto y campo de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

aplicación de este Reglamento, tales productos deben demostrar su conformidad con el RETILAP, mediante un certificado de producto. (Ministerio de minas y energía, 2010)”.

Esta normativa que se implementa en el territorio colombiano tiene como objetivos legítimos los siguientes ítems a considerar:

- La seguridad nacional en términos de garantizar el abastecimiento energético mediante uso de sistemas y productos que apliquen el URE.
- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La prevención de prácticas que puedan inducir al error del usuario.
- La protección del medio ambiente.

Para cumplir estos objetivos legítimos, el presente reglamento técnico se basó en los siguientes objetivos específicos:

- Fijar las condiciones para evitar accidentes por deficiencia en los niveles de iluminación, luminancia y uniformidad en vías, vivienda, sitios de trabajo, establecimientos que presten algún servicio al público, lugares donde se concentren personas bien sea por motivos comerciales, culturales o deportivos.
- Establecer las condiciones para prevenir accidentes o lesiones en la salud visual causados por sistemas de iluminación deficientes.
- Fijar las condiciones para evitar el desperdicio de iluminación en dirección de la bóveda celeste causada por mal diseño de instalaciones o ejecuciones defectuosas.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Establecer las condiciones para evitar alteraciones en los ciclos naturales de animales causada por desperdicio en iluminación intrusiva continua en su hábitat.
- Establecer las condiciones para evitar daños o realización de riesgos laborales debidos a deslumbramiento causado por exceso o carencia de luz.
- Establecer las eficacias mínimas, los valores de pérdidas y las eficiencias para algunas fuentes luminosas, balastos y luminarias.
- Unificar parámetros y minimizar las deficiencias en los diseños de iluminación interior y exterior.
- Establecer las responsabilidades que deben cumplir los diseñadores, constructores, interventores, operadores, inspectores, propietarios y usuarios de instalaciones de iluminación, además de los fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos y las personas jurídicas relacionadas con la gestión, operación y prestación del servicio de alumbrado público.
- Prevenir los actos que puedan inducir a error a los usuarios, tales como la utilización o difusión de indicaciones incorrectas o falsas o la omisión de datos verdaderos que no cumplen las exigencias del presente Reglamento.
- Fijar los requisitos de algunos productos destinados a iluminación, orientados a lograr su confiabilidad y compatibilidad.
- Exigir requisitos para contribuir con el uso racional y eficiente de la energía y con esto a la protección del medio ambiente y el aseguramiento del suministro eléctrico. (energía, 2010).

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El tipo de instalaciones a las que aplica el reglamento técnico está dirigido a todo tipo de instalación de iluminación o alumbrado privado y público construida, ampliada o remodelada a partir de su entrada en vigencia. Con lo anteriormente mencionado el tipo de instalaciones a las que aplica este reglamento son:

- **Instalaciones de iluminación nuevas:** se considera instalación de iluminación nueva aquella que se construya con posterioridad a la fecha de entrada en vigencia de este reglamento.
- **Ampliación de instalaciones de iluminación:** se entenderá como ampliación de una instalación de iluminación la que implique aumento de área con requerimiento de iluminación, instalación de nuevas fuentes de iluminación, modificación de las potencias de las fuentes, montaje adicional de dispositivos, equipos y luminarias.
- **Remodelación de instalaciones de iluminación y alumbrado público:** se entenderá como remodelación de una instalación de iluminación la sustitución de dispositivos, equipos, controles, luminarias y demás componentes de la instalación de iluminación. La parte remodelada deberá demostrar la conformidad con el reglamento.

(Ministerio de minas y energía, 2010)

### **Norma americana IESNA**

La sociedad de ingenieros en iluminación de Norteamérica (Illuminating Engineering Society of North America-IESNA), es una autoridad técnica reconocida en iluminación. Su objetivo principal por más de 100 años ha sido informar en todos los aspectos sobre las buenas prácticas de iluminación a sus asociados de la industria de iluminación y a los consumidores por medio de programas, publicaciones y servicios (Fasst lighting SA, 2019). Para integrarse a esta sociedad no

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

existen restricciones en cuanto a profesión, por el contrario permite desde: ingenieros, arquitectos, diseñadores, educadores, estudiantes, contratistas, distribuidores, personal de empresas de servicios públicos, fabricantes hasta científicos, todos fomentando el conocimiento y la divulgación de la información para la mejora del ambiente lumínico y para el beneficio en general de los usuarios (Fasst lighting SA, 2019).

Cuando la zona en diseño no se especifica en RETILAP, este recomienda ir a la IESNA. En el caso de que esta tampoco describa el espacio bajo análisis, se debe seleccionar un espacio que tenga características similares al espacio en análisis existente dentro del RETILAP o IESNA.

#### **2.4. Software diseño para sistemas de iluminación DIALux evo**

DIALux evo es un conocido y potente programa de cálculo de iluminación que permite realizar un proyecto integral de alumbrado, teniendo en cuenta los estándares nacionales e internacionales. Está desarrollado por profesionales del mundo de la iluminación y cuenta con más de 350.000 usuarios a nivel mundial.

Es una aplicación con alto valor intuitivo y las representaciones virtuales de los proyectos son de gran detalle; además de la perfección técnica y la disponibilidad de datos continuamente actualizados (DIAL, 2019). Este software posibilita un análisis cuantitativo sencillo de un proyecto; además cuenta con una funcionalidad sencilla de renderizar 3D, lo cual es muy útil para cálculos de iluminación interior, exterior y vial. También determina en paralelo el consumo energético de su proyecto de iluminación, para el cumplimiento de las directrices vigentes a nivel nacional e internacional.

Las ventajas al utilizar el DIALux evo son:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Por medio del modelador 3D se puede parametrizar las condiciones de locales y de espacios exteriores.
- Posee diferentes disposiciones y un enorme catálogo de trabajo.
- Combina diferentes modelos de luminarias todas ellas disponibles en el mercado.
- Ajusta progresivamente las instalaciones a las necesidades planteadas.
- Calcula de una manera fácil los diferentes niveles de iluminancia, homogeneidad y los niveles de deslumbramiento

A partir del diseño del sistema de iluminación, los datos de placa de las luminarias seleccionadas, y por medio de la implementación de métodos matemáticos, se puede estimar el costo del sistema, considerando la vida útil y el costo de la energía eléctrica. Permitiendo de esta manera cuantificar el costo total de un diseño en específico. Con lo cual se puede seleccionar el diseño que mejor se ajuste a los requerimientos técnicos y límites de inversión del usuario final.

### **Estrategias de uso racional de la energía**

El uso racional de los recursos no solo obedece al aspecto ambiental, también a la eficiencia, costos de transformación y/o ejecución en las diferentes organizaciones. Contar con organizaciones eficaces en el uso racional de sus recursos, impacta de manera directa en el medio ambiente. Reducir los costos maximiza beneficios, todo esto sin ignorar aspectos fundamentales como calidad, seguridad y responsabilidad social. Esto permite que las organizaciones logren resultados financieros positivos de sus inversiones (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2013).

Para lograr una planificación acertada de este proyecto se requiere establecer los parámetros, variables y mediciones del caso de estudio, que sirven como insumo para recopilar los diferentes

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

datos que permitan realizar un diagnóstico energético apropiado y evaluar las diferentes modificaciones, actualizaciones, mejoras, ajustes de calidad y seguridad, que requiere el sistema en estudio. Las acciones enfocadas al URE que se ejecuten con este análisis deben perdurar en el tiempo. Además, es posible que, con los cambios tecnológicos, metodologías de trabajo entre otros tipos de propuestas presentadas en el plan URE se puedan afrontar nuevos proyectos que beneficien a toda la organización. Dentro de este proyecto de investigación se requerirá:

- Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema de iluminación actual de la planta de manufactura.
- Diseñar un sistema de iluminación eficiente desde el punto de vista técnico y económico que permita mitigar las problemáticas del sistema de iluminación actual.
- Planificar acciones de mejora que permitan optimizar el recurso energético del proceso basados en la información recopilada.
- Como estudiantes del ITM esto representa un desafío importante para la consolidación de la formación como ingenieros electromecánicos al afrontar esta clase de retos, y nos permite aportar desde nuestra formación conceptos claros y aplicables a la industria, desde diferentes focos de trabajo e identificar estas oportunidades de mejora en la industria como ingenieros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. Metodología

#### 3.1. Análisis del sistema de iluminación.

##### 3.1.1. Descripción planta de manufactura.

Para la elaboración de este proyecto se realizó el CAD del plano arquitectónico de la planta ensambladora de ascensores ubicada en el municipio de Bello Antioquia (ver ilustración 1). Este se fraccionó en zonas de trabajo, estableciendo la cantidad de luminarias, tipo y factor de uso horario (activación horaria de luminarias). Esta fragmentación del espacio se realizó con el objetivo de analizar los requerimientos técnicos de iluminación según la actividad que se realiza en cada espacio.

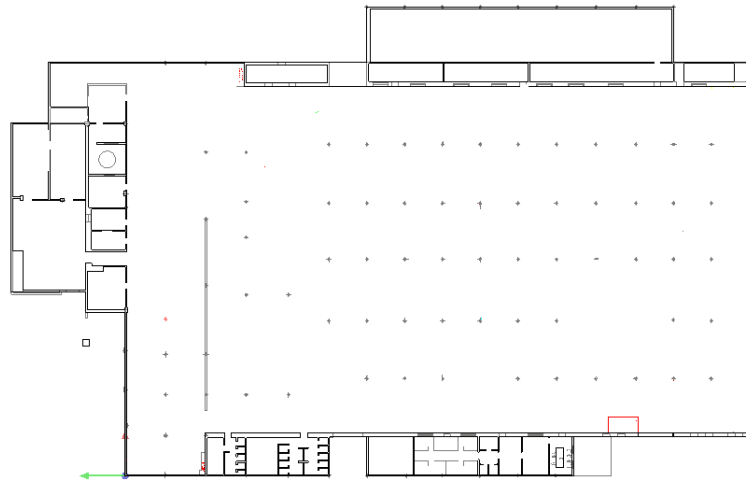


Ilustración 1. Plano arquitectónico

La planta se dividió en 11 zonas de trabajo, las cuales se presentan en la Ilustración 2, y se definen a continuación.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

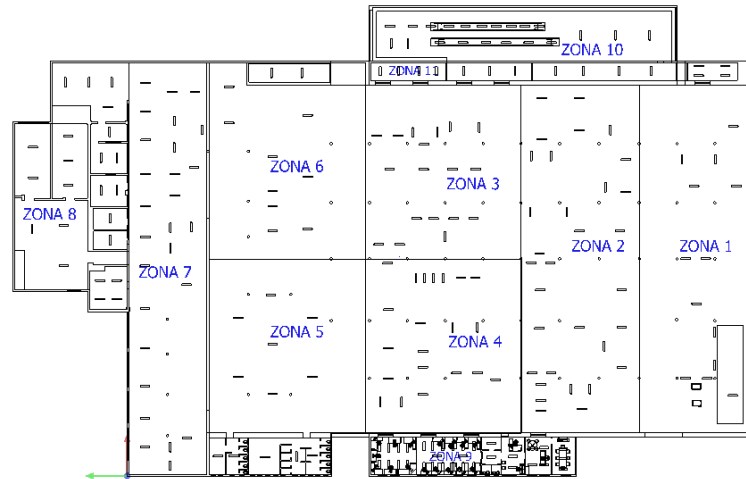


Ilustración 2. Zonas de distribución

**Zona 1 (Sección de corte):** en esta zona se realiza el proceso de corte de lámina, el cual cuenta con dos tipos de sistemas para cortar: uno manual que es de tipo (Guillotina) empleando cizallas mecánicas; y uno CNC tipo laser. En los dos sistemas de corte el proceso se realiza hombre-máquina. Los materiales que se utilizan para realizar secciones de corte son láminas de acero Hair line NF 445, Hair line sus 304 en acero inoxidable, lámina galvanizada, lámina HR calibres 3.2, 4.5 y 6.0 mm. Este proceso es fundamental para iniciar la transformación y fabricación de todos los componentes que conforman un elevador.

**Zona 2 (Sección de punzonado y doblado):** esta zona se encarga de la transformación de lámina, realizando el punzonado y doblado del material, este trabajo operativo se realiza hombre-máquina. El trabajo de punzonado es un proceso de alta precisión en láminas de acero de bajo carbono, galvanizadas, cold rolled y hot rolled; que requieren perforaciones con geometrías determinadas, en este proceso se emplea la utilización de un punzón perfectamente afilado y una matriz base que permiten diferentes tipos de perforaciones y cortes de figuras de un solo golpe.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la zona de doblado se utiliza una plegadora mecánica para realizar la transformación de la chapa mediante una presión gradual a un ángulo determinado, sobre la superficie plana existente de la chapa.

**Zona 3 (Sección ensamble de componentes mecánicos y perforados de chapa):**

Este proceso consiste en la realización de perforaciones detalladas y puntuales en pequeñas piezas realizando ojales, perforaciones de esquina y cortes seccionados mediante la utilización de una perforadora de pinza tipo tijera con mecanismo de pedal.

En esta zona también se encuentra el ensamble de componentes mecánicos como poleas, bandas y cadenas; posteriormente estas piezas son ubicadas mediante un sistema de andamiaje.

**Zona 4 (Sección de soldadura):** esta es una zona de sub-ensamble, en donde se hace lectura de planos y se requiere un gran nivel de detalle para la aplicación de soldadura; una vez que se tiene las piezas dobladas se trasladan a esta zona en donde se procede a la unión de otros componentes mediante la aplicación de soldadura por electrodo.

**Zona 5 (Sección de ensamble de techos y plataformas):** En esta zona se realiza el ensamble de todas las piezas para la conformación de la cabina, en este proceso todas las piezas deben de calzar perfectamente de manera de no realizar ningún tipo de corrección. En esta etapa se utilizan tornillos y remaches para la unión de todos los componentes de sub-ensamble que conforman la cabina.

**Zona 6 (Sección de pegado de formica y empaque):** en esta sección se realiza el pegado de laminados decorativos los cuales son revestimientos que tiene resistencia al calor, resistencia a la humedad, resistencia al impacto y ralladuras; estas laminas se utilizan para recubrir a modo decorativo las paredes frontales, laterales y posteriores de la cabina del ascensor, una vez



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pegada la formica estos componentes pasan al proceso de empaque en el cual se apilan los paneles de una forma ordenada en un huacal de madera.

**Zona 7 (Sección horno de secado y tratamiento superficial):** en esta zona están ubicados unos tanques de tratamiento superficial, los cuales sirven para sumergir las piezas en una mezcla de agua y desengrasantes químicos con el fin de dar unas características determinadas a la superficie de la pieza y de esta manera eliminar contaminantes e impurezas que afecten la parte estética de estas. Se realiza también un tratamiento de fosfatado para recubrir las piezas metálicas y así prevenir la corrosión, mejorar la superficie y a su vez sirve como base para recubrimientos o pintados posteriores.

Una vez efectuado el tratamiento superficial las piezas pasan al horno de secado en el cual mediante la utilización del horno se acelera el proceso de secado elevando la temperatura.

**Zona 8 (Sección de aplicación de pintura electroestática y pintura líquida):** este proceso se realiza hombre-máquina y se efectúa en el interior de una cabina, en donde se ejecuta la aplicación del recubrimiento en polvo, el cual consiste en la utilización de una pistola pulverizadora la cual aplica una carga electrostática a las partículas de polvo para el revestimiento de las piezas, este proceso se realiza con el fin de formar un acabado sólido más resistente y duradero garantizando así unos excelentes acabados.

El proceso de pintura líquida se ejecuta hombre-máquina, en donde se aplica pintura líquida mezclada con un disolvente en forma de aspersion, con la utilización de una pistola y un compresor de aire.

**Zona 9 (Sección de oficinas y sala de reuniones):** esta es un área de gran importancia ya que en ella se encuentran cubículos y puestos de trabajo con múltiples usos relacionados con la

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

utilización de softwares para la recopilación de datos de gran importancia para la pre-manufactura en planta.

En este espacio también se encuentra la sala de reuniones la cual es utilizada para la realizar las reuniones entre los diferentes departamentos de la empresa y para el encuentro con socios, empleados y proveedores.

**Zona 10 (Sección instalación de cableado):** en esta zona se instalan los diferentes componentes de los sistemas eléctricos del elevador, con el fin de mantener el correcto funcionamiento en las instalaciones de los componentes eléctricos, ejecutando la reparación y conexión de los circuitos y verificando el estado funcional de los sistemas.

**Zona 11 (Zona de herramienta, planos e insumos para proceso):** en esta área se realiza la entrega de diferentes herramientas manuales, elementos de protección personal (EPP) para el personal técnico, insumos para perforado, custodia de planos de fabricación, lectura digital de la ordenes de producción en una estación de cómputo y un lector de código de barras.

### **3.1.2. Tipo de luminaria instalada en la planta de manufactura.**

Actualmente, la planta de manufactura cuenta con dos tipos de luminarias: fluorescente herméticas 2x54w y de chasis abierto de 2x32w, estas últimas se ensamblan directamente por el distribuidor de luminarias para esta compañía, por lo tanto, no cuenta con ficha técnica, pero si los tubos fluorescentes de 32w que usa. La ficha técnica para la luminaria de hermética de 2x54w y el tubo fluorescente de 32w se presentan en los Anexos 1, 2 y 3. A continuación, se relacionan las cantidades y tipo de luminaria por zona:

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 1. Tipo de luminarias y potencia instalada

<b>Zona</b>	<b>Tipo de luminaria</b>	<b>Tipo de chasis</b>	<b>Cantidad total de luminarias</b>	<b>Potencia por luminaria instalada (W)</b>	<b>Potencia total instalada (W)</b>
<b>Zona N°1</b>	2x54W fluorescente	Hermético	13	108	1404
<b>Zona N°2</b>	2x54W fluorescente	Hermético	32	108	3456
<b>Zona N°3</b>	2x54W fluorescente	Hermético	18	108	1944
<b>Zona N°4</b>	2x54W fluorescente	Hermético	21	108	2268
<b>Zona N°5</b>	2x54W fluorescente	Hermético	12	108	1296
<b>Zona N°6</b>	2x54W fluorescente	Hermético	11	108	1188
<b>Zona N°7</b>	2x54W fluorescente	Hermético	28	108	3024
<b>Zona N°8</b>	2x54W fluorescente	Hermético	22	108	2376
<b>Zona N°9</b>	2x32W fluorescente	Abierto	34	64	2176
<b>Zona N°10</b>	2x54W fluorescente	Hermético	32	108	3456
<b>Zona N°11</b>	2x32W fluorescente	Abierto	4	64	256

Para obtener las curvas horarias de utilización del sistema de iluminación en la planta de manufactura, se desarrolló una hoja de seguimiento, realizando una ronda en intervalos de una hora con el objetivo de determinar el número de luminarias en uso para cada zona de trabajo. Con base en esta información se logra establecer el índice de utilización por zona. Este seguimiento se puede ver en los Anexos 4 y 5, en estas hojas se puede observar la división de los puestos de trabajo por zonas, cantidad de luminarias instaladas por zonas, cantidad de luminarias encendidas durante las 24 horas del día. La recopilación de estos datos se realiza en condiciones normales de operación. Con la compilación de esta información se pretende obtener la potencia instalada en cada una de las (11) zonas en las que está dividida la planta de manufactura y a su vez determinar el consumo total diario.

A continuación, se presenta factor horario de uso del sistema de iluminación para cada zona dentro de la planta de manufactura, para una semana de operación; es importante destacar que

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

debido a que la empresa no opera el domingo, solo será analizado el modo de uso de lunes a sábado, obteniendo de esta manera el comportamiento de 6 días de operación.

En este proyecto de grado es empleado un factor de utilización de 0 a 1, en el cual 1 indica que se están empleando el 100% de las luminarias instaladas en la zona bajo análisis y el 0 indica que no se está empleando ninguna luminaria en la zona. Este indicador es propuesto con el objetivo de poder evaluar el consumo del sistema actual de iluminación, y las propuestas obtenidas por la aplicación del DIALux-evo (reconversión tecnológica). La Ecuación (1) presenta el factor de utilización del sistema de iluminación horario empleado dentro de este proyecto de grado, donde,  $FU_h$  representa el factor de utilización horario del sistema de iluminación para cada zona en análisis,  $NLA$  representa el número de luminarias activadas en la zona bajo análisis y  $NLM$  el número máximo de luminarias instalado.

$$FU_h = \frac{NLA}{NLM} \quad (1)$$

A continuación, se presenta el análisis del factor de utilización del sistema de iluminación instalado en la planta para cada zona de trabajo, empleando la información suministrada por los Anexos 4 y 5.

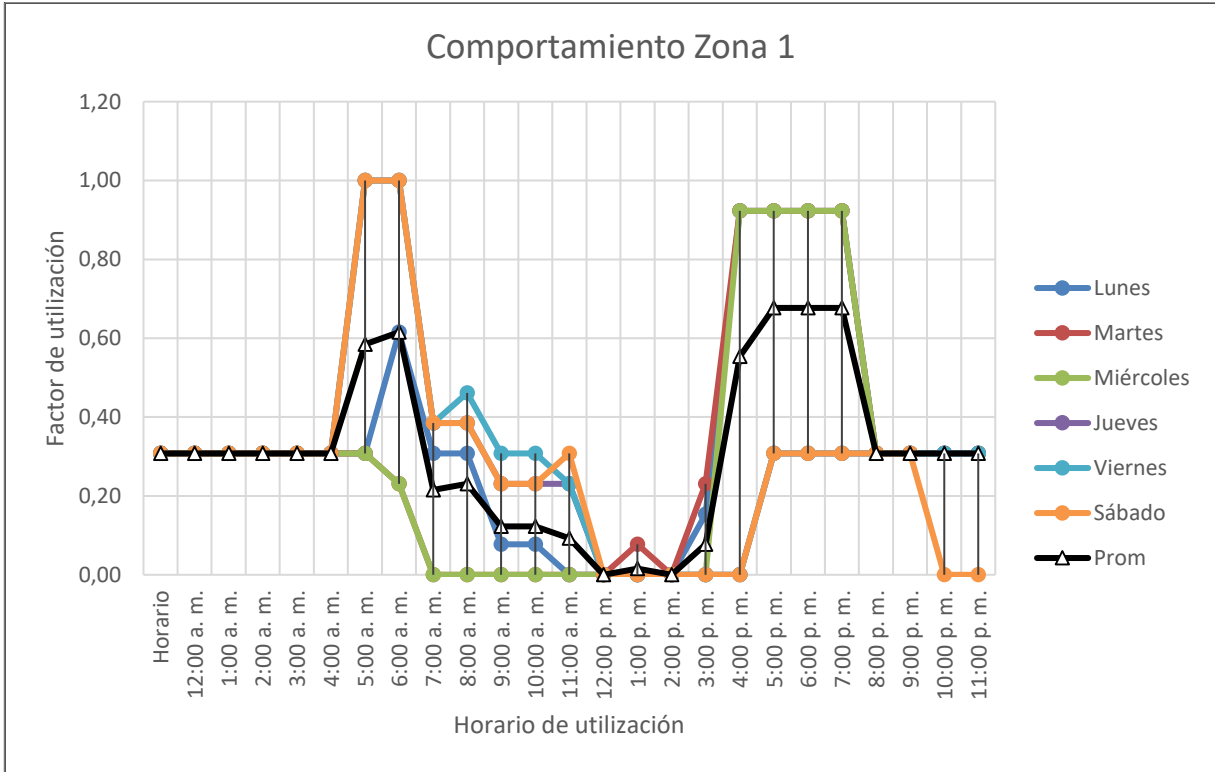


Ilustración 3. Factor utilización zona 1

La Ilustración 3 presenta el modo de uso del sistema de utilización para la zona 1 durante las 24 horas del día, para 6 días de la semana. En esta ilustración se puede apreciar que el máximo de luminarias activadas (factor de utilización = 1) se presenta el día sábado de 5:00 a 6:00 am. Ya que la zona de corte trabaja al máximo para abastecer los demás procesos de manufactura. Por otro lado, se puede apreciar que el número de luminarias activadas se reduce en la franja horaria de 11:00am a 3:00pm, debido a que esta zona cuenta con el ingreso de luz natural.

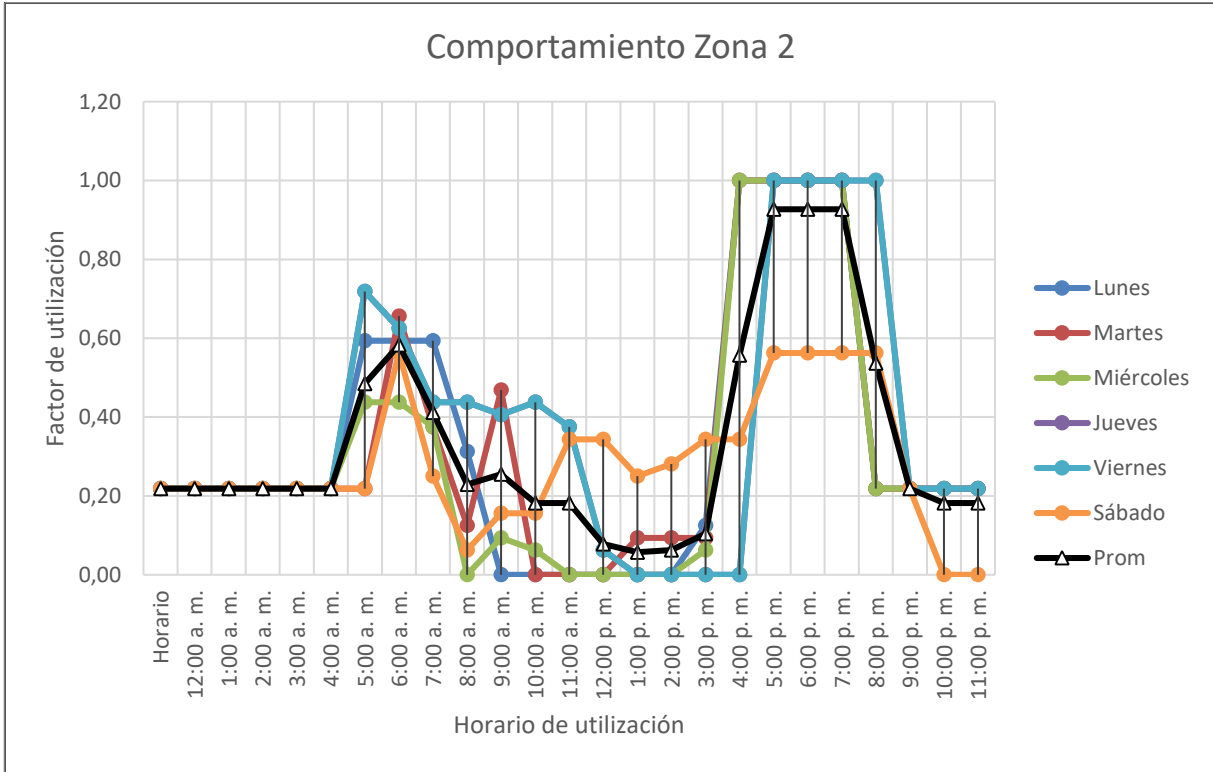


Ilustración 4. Factor utilización zona 2

En la Ilustración 4 se evidencia el comportamiento del factor de utilización para la zona # 2. En esta ilustración se evidencia que los días miércoles y viernes de 5:00pm a 8:00pm se obtienen los picos de consumo más altos ya que, en los procesos de doblado se requiere una buena iluminación para la lectura de planos. Por otro lado, se evidencia que se redujo el consumo los días martes y jueves debido al paro de los procesos de lijado y sierra sin fin.

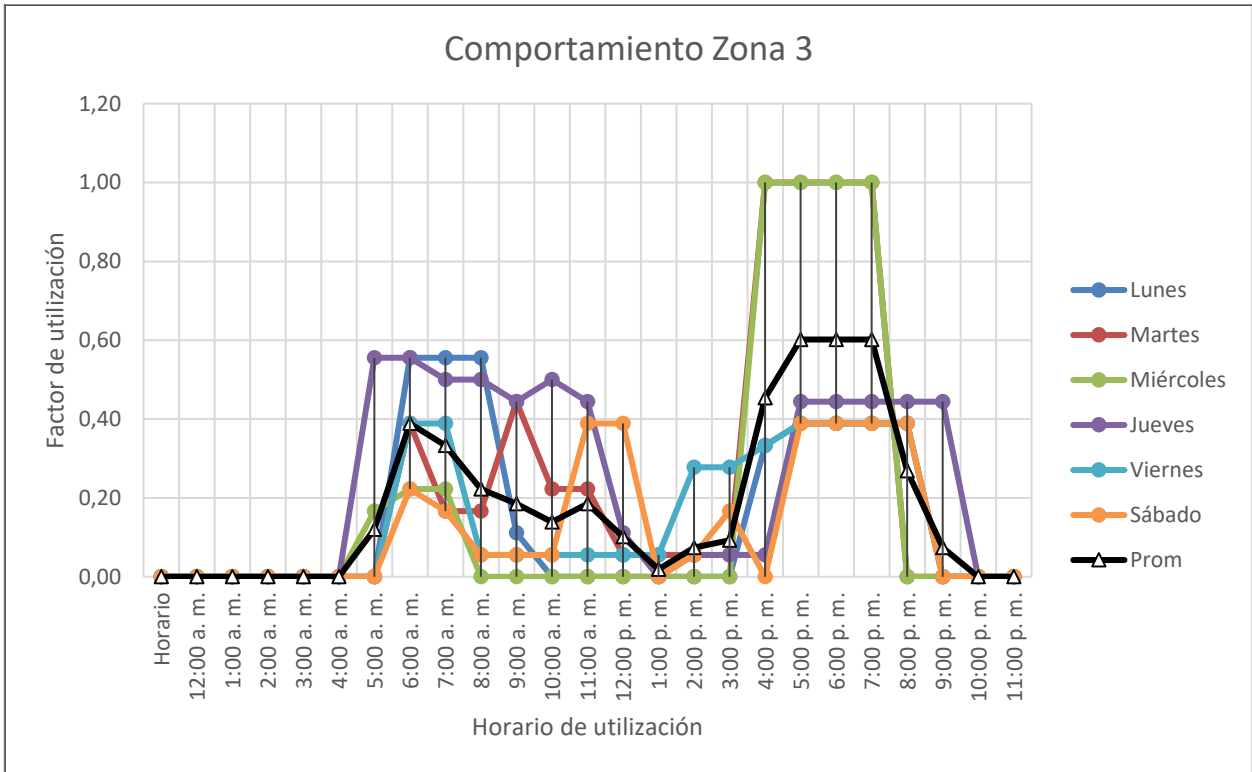


Ilustración 5. Factor utilización zona 3

En la Ilustración 5, se puede evidenciar el comportamiento gráfico de la utilización de luminarias en la zona 3, en donde se realizan procesos de subensamble. Según el comportamiento grafico muestra ser una zona estable en su consumo, siendo un poco más relevante en consumo, el día miércoles entre 4:00pm y 7:00pm. Por otra parte, cabe anotar que el número de luminarias activadas se reduce en la franja horaria de 8:00am a 4:00pm.

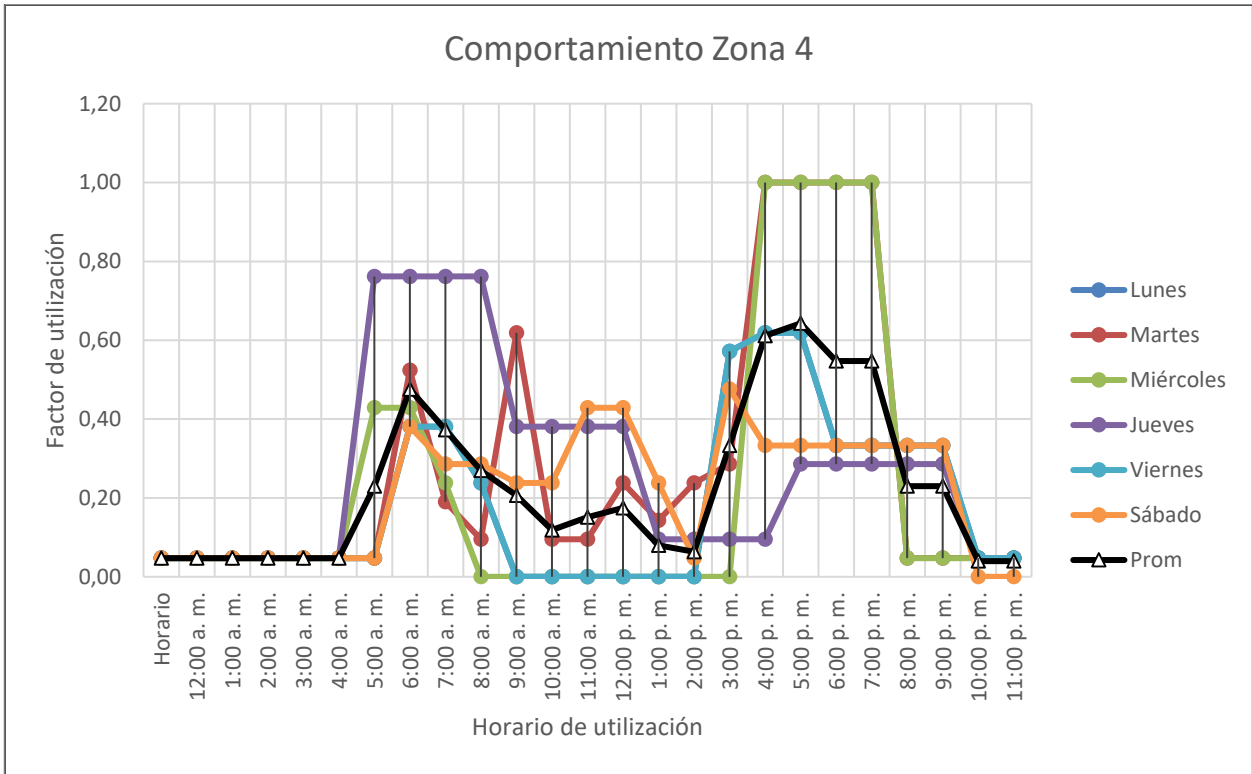


Ilustración 6. Factor utilización zona 4

En la Ilustración 6, se puede evidenciar el comportamiento día a día en la zona 4, en la cual se observan los comportamientos que tienen las curvas gráficas, las cuales representan los picos de uso o de activación de luminarias durante las 24 horas del día. Se nota que el día miércoles de 4:00pm a 7:00pm. Se presenta el mayor pico de activación del factor de utilización debido a que el comportamiento del proceso productivo del área de soldadura y enderezado trabajo a su mayor capacidad, por tal motivo se realiza la mayor utilización de luminarias para la ejecución de dicha actividad.



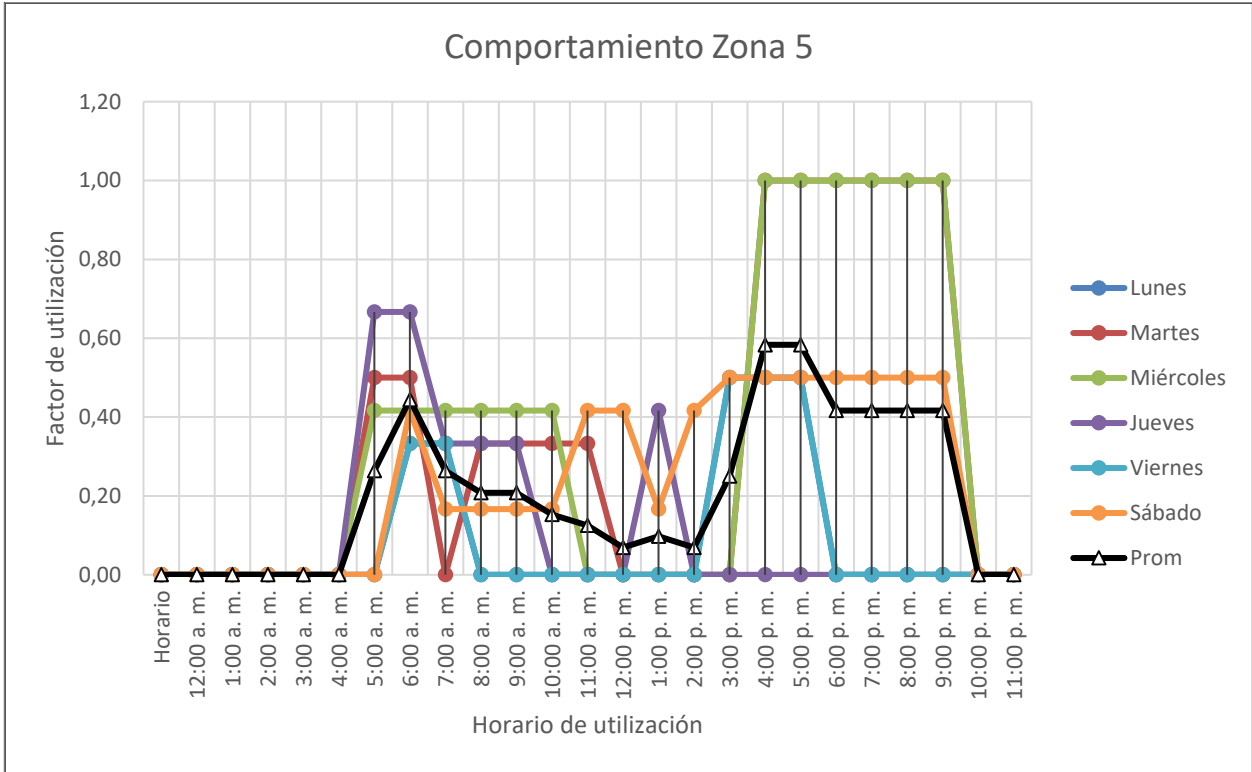


Ilustración 7. Factor utilización zona 5

En la Ilustración 7 se observan las variaciones diarias del factor de utilización en la zona # 5, lo que se observa según la gráfica es un comportamiento estable en la franja horaria del turno del mañana comprendido entre las 6:00 a.m. y las 2: p.m. este comportamiento estable se debe al tipo de oficio que se desarrolla en esta zona como lo es el ensamble de componentes de gran tamaño. Por otra parte, se evidencia que el día viernes se presenta un comportamiento anómalo, generando horas valle comprendidas entre las 8:00 a.m. y 2:00 p.m.

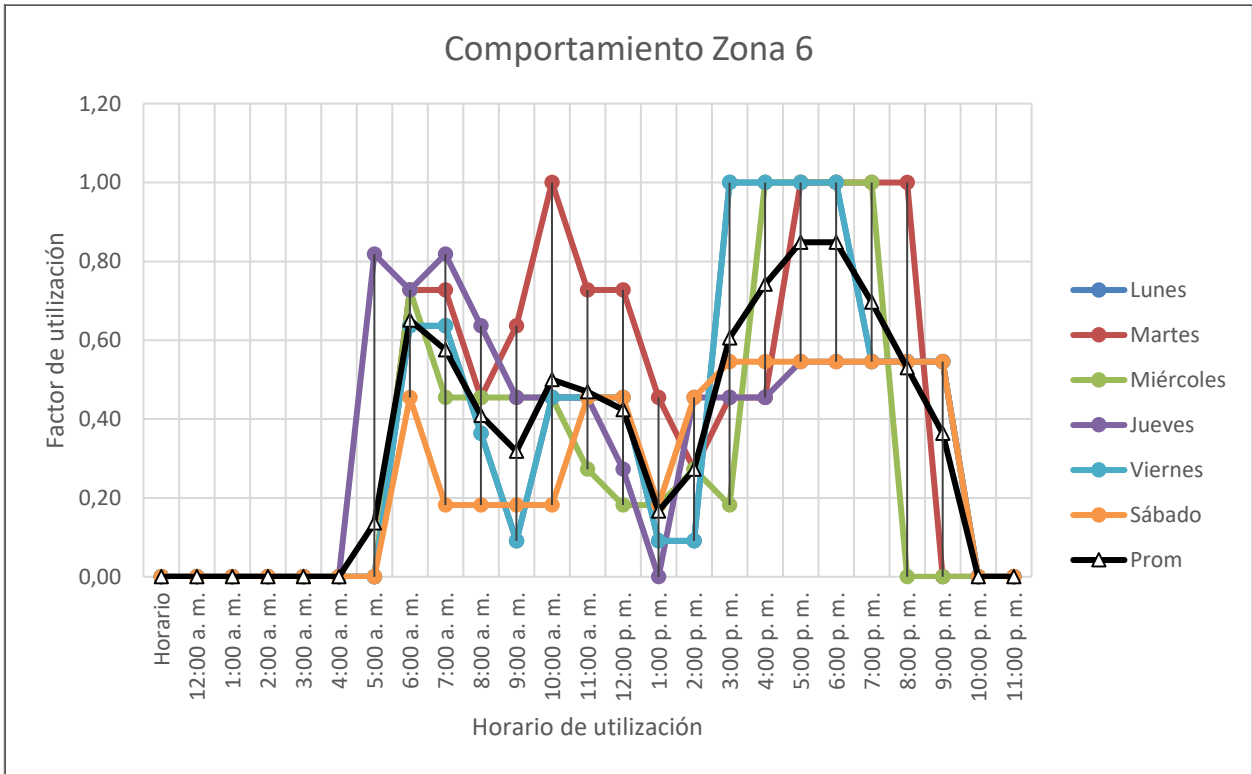


Ilustración 8. Factor utilización zona 6

En la Ilustración 8 se puede observar el comportamiento que tiene el consumo de energía con la activación de luminarias en la zona # 6, cabe anotar que los días miércoles y viernes de 3:00pm a 8:00pm. Son los días con un elevado pico en el uso de luminarias, debido al aumento de materia prima en esta zona, la cual debe ser respectivamente rotulada y empacada para su posterior despacho; Finalmente se puede apreciar que el número de luminarias activadas se reduce en la franja horaria de 10:00pm a 5:00am. Ya que en esta zona no labora personal operativo en el turno nocturno.

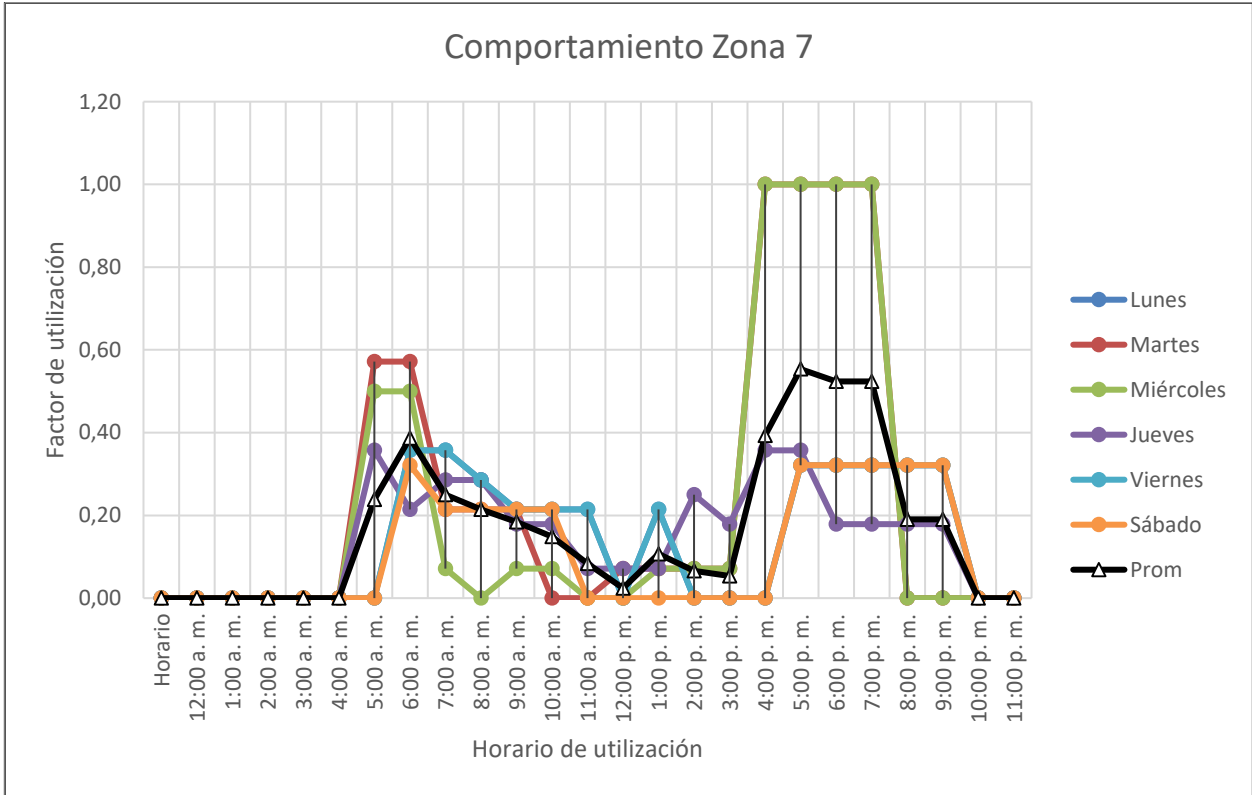


Ilustración 9. Factor utilización zona 7

En la Ilustración 9 se puede apreciar el comportamiento con respecto al uso de luminarias de esta zona, se evidencia que el día miércoles se tuvo gran producción y por ende el comportamiento se registró con picos elevados de uso o de activación de luminarias en la zona 7. No obstante, se evidencia que el factor de utilización se reduce notablemente en las horas de la noche ya que no se realiza trabajo operativo en esta zona debido al vaciado de los tanques de fosfatado durante la noche.

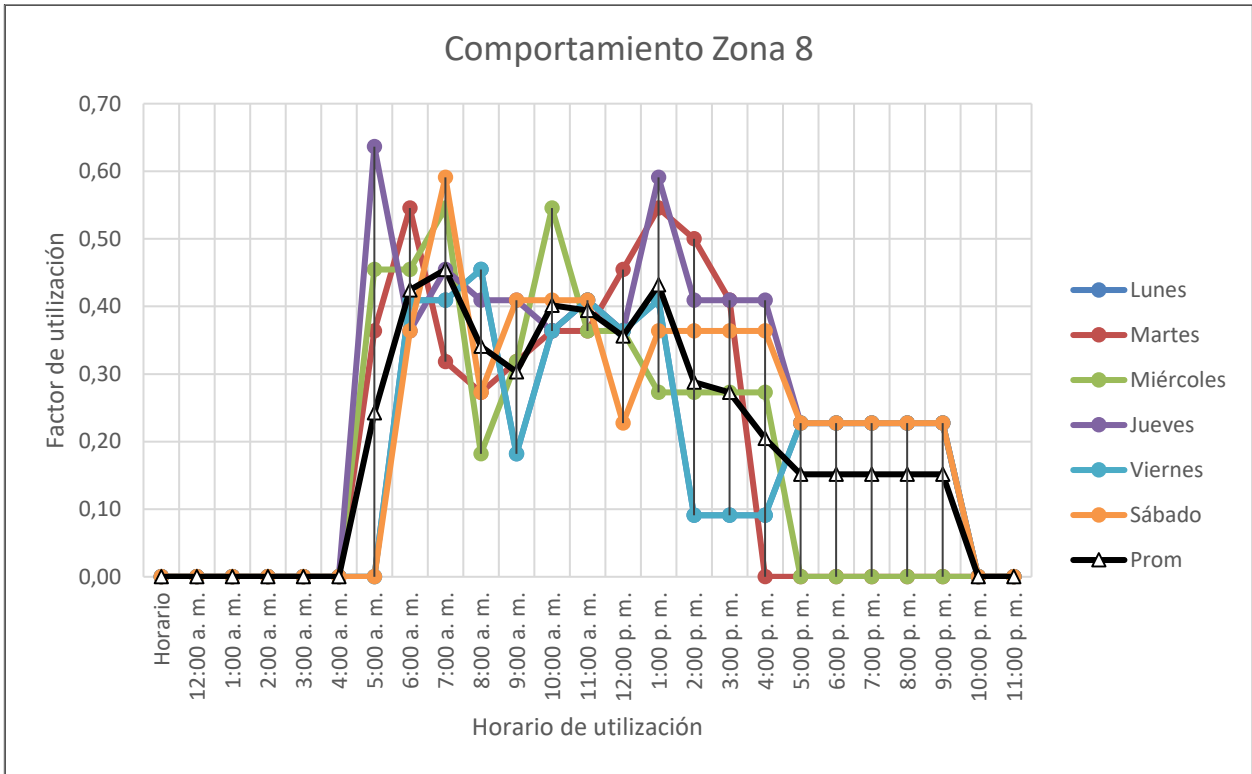


Ilustración 10. Factor utilización zona 8

El contenido graficado en la Ilustración 10 refleja el comportamiento que tiene el factor de utilización en esta línea de producción de la zona # 8 la cual requiere gran cantidad de iluminación por ser una zona de gran detalle para la aplicación de pintura, por lo cual se nota en esta grafica que las horas comprendidas en el turno operativo de la mañana, establecido entre las 6:00 a.m. y las 2:00 p.m. son las horas que generan un mayor pico de elevación. Cabe notar que, la capacidad operativa de esta zona aumenta considerablemente debido a la gran cantidad de piezas para procesar.

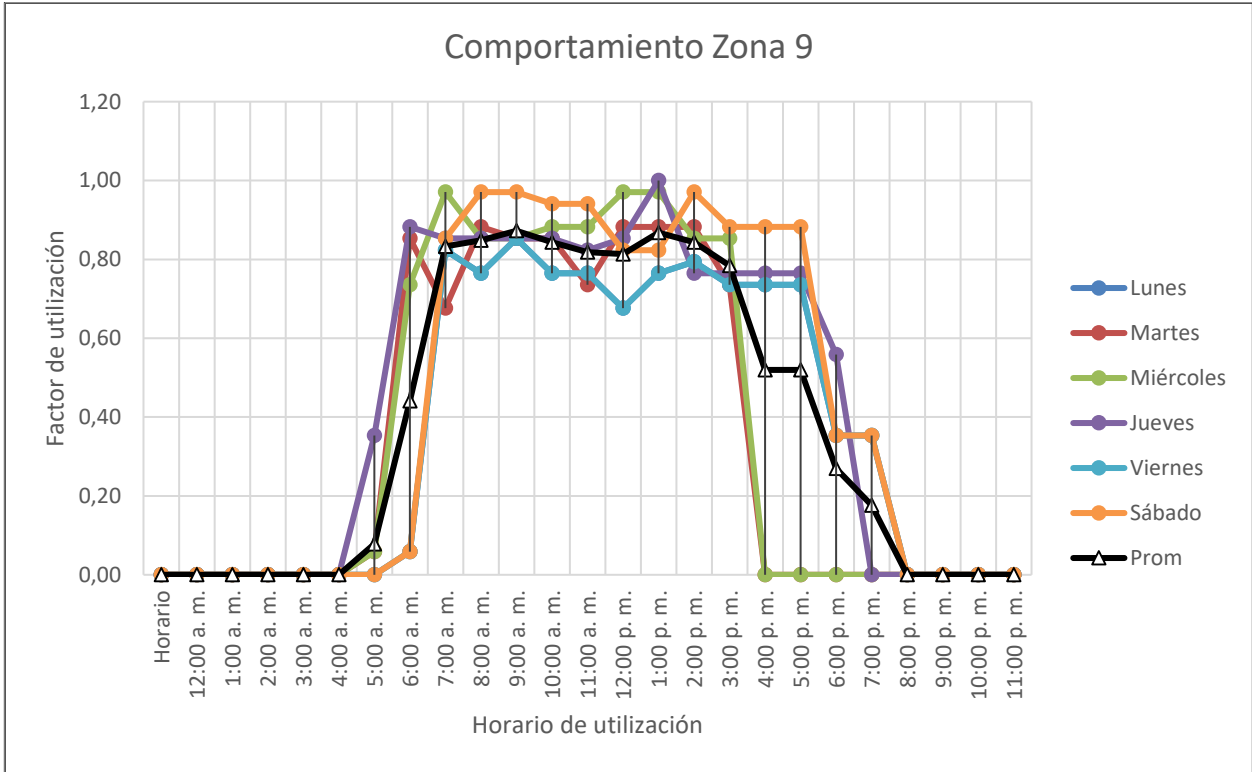


Ilustración 11. Factor utilización zona 9

En la Ilustración 11 se muestra la utilización diaria del uso de luminarias en esta zona determinando así el consumo del factor de utilización; Es relevante mencionar que esta es una zona de oficinas la cual, según la gráfica muestra un consumo máximo de luminarias por el tipo de trabajo que se realiza, siendo su comportamiento elevado pero muy homogéneo, con un factor de utilización de picos elevados en la franja horaria de 6:00 am a 5:00 pm que oscila entre 0.8 y 1. Finalmente se puede apreciar que el número de luminarias activadas se reduce en la franja horaria de 08:00 pm a 5:00 am. Ya que no se ejecuta ninguna labor operativa en este horario.

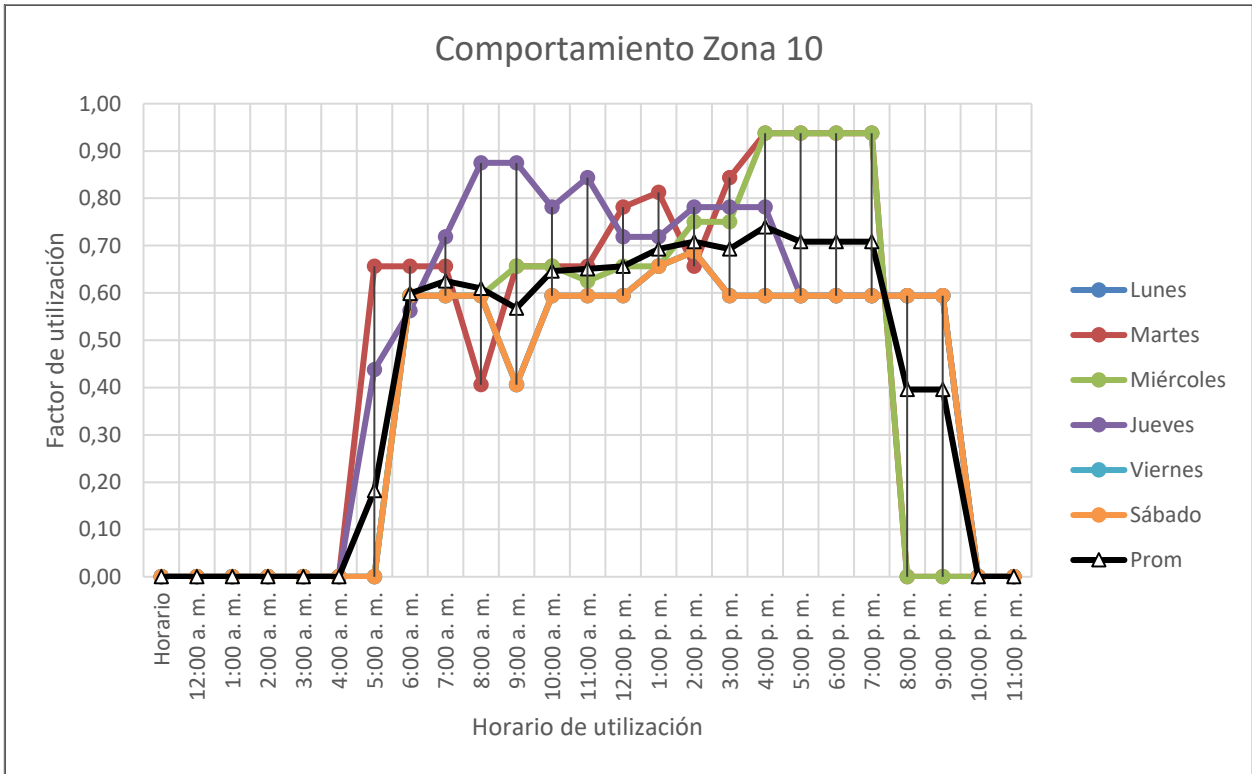


Ilustración 12. Factor utilización zona 10

En la Ilustración 12 se puede apreciar que los picos de uso o de activación de luminarias en la zona 10 que se presentan durante las 24 horas del día. El máximo de luminarias activadas se presenta el día miércoles, pero solo alcanza entre un 0.4 a 0.95 de factor de utilización en el horario de 6:00am a 10:00pm. Finalmente se puede apreciar que el número de luminarias activadas se reduce en la franja horaria de 10:00pm a 6:00am.

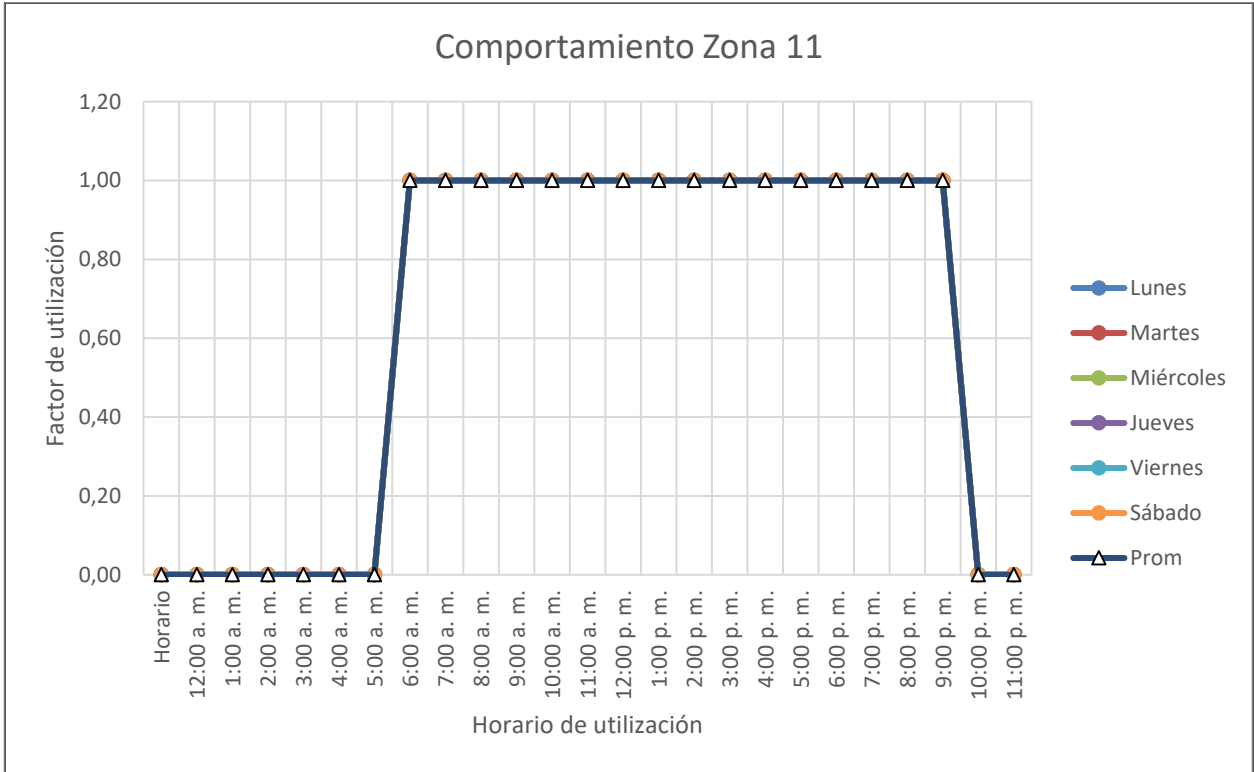


Ilustración 13. Factor utilización zona 11

En la Ilustración 13 se evidencia que esta zona presenta un comportamiento homogéneo en cuanto a su factor de utilización el máximo de luminarias instaladas permanece prendida en el horario de 6:00am a 10:00pm siendo el factor de utilización 1. Finalmente se puede apreciar que el número de luminarias activadas no aplica en el horario de 10:00pm a 6:00am. Se puede concluir según lo graficado que este comportamiento se presenta porque en esta zona se trabaja continuamente y se deben de tener las luminarias encendidas de inicio a fin durante todo el proceso.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3.1.3. Niveles de iluminación para las zonas de trabajo asignados por el RETILAP.

Una iluminación adecuada es un factor muy importante en un puesto de trabajo, ya que de esta depende la seguridad con que se ejecuta cada labor. Si el tipo de iluminación es inadecuado para la realizar las actividades productivas puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, inconformidad, estrés y accidentes, lo que pone en riesgo la salud y la seguridad de los colaboradores ya que una inadecuada iluminación es un factor de riesgo físico que, de acuerdo con el tiempo de exposición y exigencia visual de las tareas, influye directamente en el personal operativo y su desempeño productivo (Airboix, 2017)

El confort visual es fundamental al momento de ejecutar una tarea o trabajo ya que de este depende la capacidad visual y la calidad de iluminación. Un espacio bien iluminado no es solamente aquel que tiene suficiente cantidad de luz, sino aquel que tiene la cantidad de luz adecuada a la actividad que allí se realiza, por ende, no todas las actividades que tienen relación con la industria requieren el mismo nivel de iluminación, ya que en una misma planta industrial suelen haber distintas áreas de ejecución productiva y cada una de ellas tiene unos requisitos, parámetros y necesidades de iluminación concretos. Estos parámetros se denominan nivel luminoso y su unidad de medida es el lux.

Un diseño de iluminación debe estar acorde técnicamente y en armonía con el área que será iluminada y bajo los requerimientos de luz en los usos que se pretendan, así mismo por los lineamientos establecidos en el capítulo 4 del RETILAP. Es fundamental tener en cuenta aspectos como: el área a iluminar, la forma, la actividad que se desarrolla, y los aportes exteriores de luz (trejos londoño, 2018, pág. 45). Para establecer una adecuada iluminación se requiere conocer con detalle las actividades asociadas con cada espacio, bajo los siguientes factores:

- Exigencias visuales de cada puesto de trabajo.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Localización.
- Condiciones de reflexión en las superficies que hacen parte del espacio del diseño.
- Niveles de iluminancia.
- Uniformidad de acuerdo al diseño requerido.
- Disponibilidad de iluminación natural.
- Control del deslumbramiento.
- Requerimientos especiales de las propiedades de las luminarias y tipo de aplicación.

Teniendo en cuenta este tipo de factores se garantizarán las condiciones que debe tener la instalación para satisfacer las distintas demandas del caso de diseño.

Para la ejecución de este proyecto se analizaron los niveles de iluminación óptimos para cada zona de trabajo, acorde con la normatividad y los requerimientos técnicos del reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), se presenta la Tabla 2 para niveles de iluminación.

Tabla 2 Niveles de iluminación

Zona	Tipo de recinto	Áreas y clases de local	Mínimo (LUX)	Medio (LUX)	Máximo (LUX)
1	Taller de mecánica y de ajuste	Trabajo ocasional	150	200	300
2	Taller de mecánica y de ajuste	Maquinado y trabajo de media precisión en banco, máquinas generalmente automáticas	300	500	750
3	Taller de mecánica y de ajuste	Trabajo basto en banca y maquinado	200	300	500
4	Taller de mecánica y de ajuste	Trabajo basto en banca y maquinado, soldadura	200	300	500
5	trabajo en hierro y acero	Trabajo en banco y montaje	200	300	500
6	trabajo en hierro y acero	Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	200	300	500

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7	Trabajo en vidrio y cerámica	Zona de hornos	100	150	200
8	Talleres de pintura y rociado	Pintura fina, rociado y terminado	500	750	1000
9	Oficinas	Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	300	500	750
10	Industria eléctrica	Ensamble de elementos de ultra precisión componentes electrónicos	1000	1500	2000
11	Fábricas de papel	Elaboración de planos	500	750	1000

### 3.2. Metodología para diseño del sistema de iluminación en el software DIALux-evo

El software DIALux-evo permite recrear con gran precisión las diferentes zonas de trabajo y evaluar el nivel de iluminación de un espacio de acuerdo a su uso y la norma que lo rige.

Para este caso se usó el plano arquitectónico vigente de la planta de manufactura y se importó al software el archivo Autocad, ver ilustración 1. Ya en la aplicación DIALux-evo, se generaron los diferentes contornos perimetrales internos y externos. Además de las zonas de trabajo.

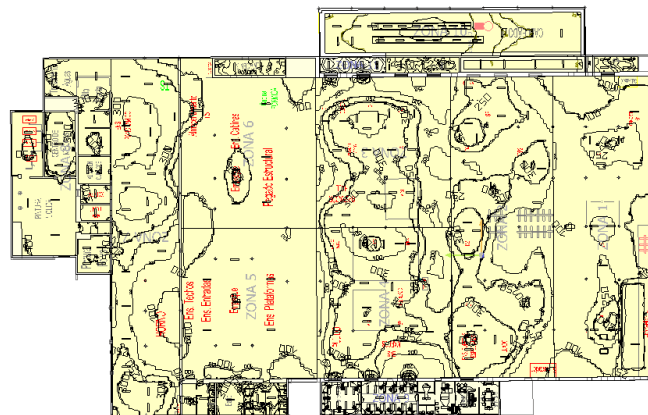


Ilustración 14. Distribución de zonas de trabajo

De acuerdo con los valores especificados en la Tabla 2 se parametriza cada una de las áreas, en la pestaña perfil de uso en el software, tal y como se presenta en la Ilustración 15.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

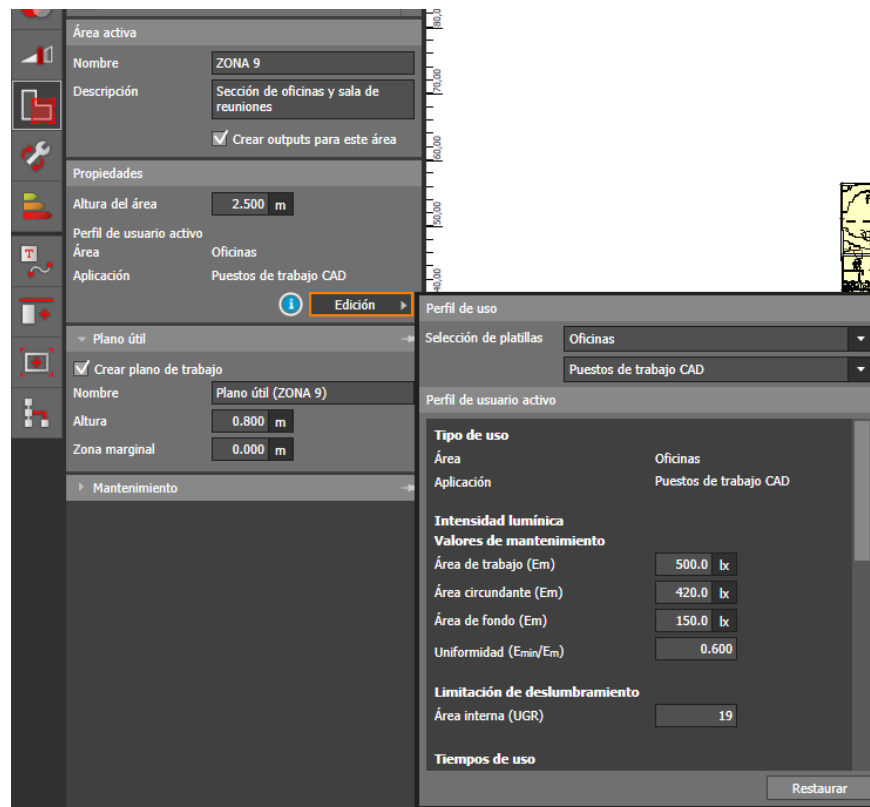


Ilustración 15. Parametrización de cada zona de trabajo

A partir de esta información se obtiene el plano de trabajo deseado, el cual permite asignar el nivel de iluminación adecuado para la zona de trabajo acorde a la norma. Al igual que se determina la posición de las luminarias acordes tanto al diseño arquitectónico del área y de las condiciones técnico operativos que demanda la zona de trabajo. Todo lo anterior, con el fin de obtener resultados que se ajusten a la norma y que representen condiciones adecuadas para el personal técnico y sus respectivos oficios en la organización.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

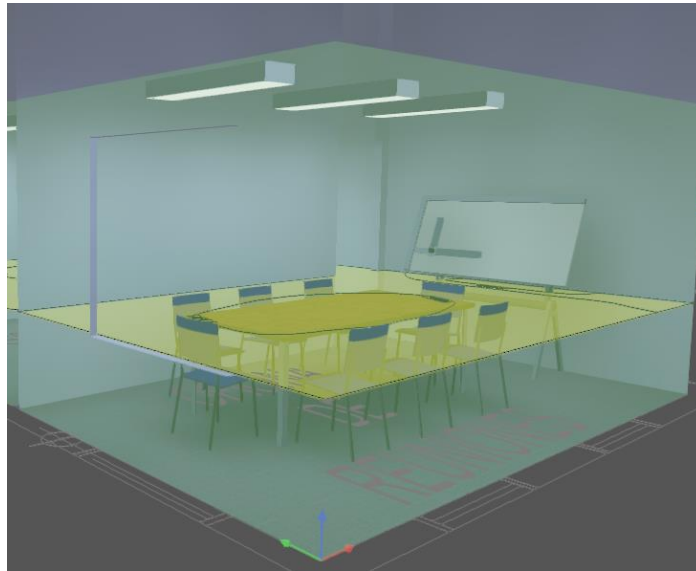


Ilustración 16. Representación plano útil para zona de trabajo

En la Ilustración 16 se muestra la simulación para la sala de reuniones planta en donde se puede observar de color amarillo el nivel de la zona de trabajo asignada a esta zona. A este plano útil se le asigna el valor de iluminación acorde a la norma y altura de acuerdo a las condiciones técnico-operativas del puesto de trabajo.



Ilustración 17. Representación plano instalación luminarias

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Ilustración 17 se puede observar en la parte superior un plano de color verde claro que representa la altura y plano sobre el cual se instalaran las luminarias. La posición de este plano depende tanto de la arquitectura del diseño como de las condiciones técnico operativas requeridas.

Luego se instalan las luminarias de acuerdo a las condiciones requeridas. Cabe resaltar, que es necesario correr varias simulaciones para obtener valores deseados desde el punto de vista técnico, retorno de la inversión (ROI), seguridad y calidad de la instalación. Adicionalmente se busca la configuración, fotometría y condiciones técnicas de las lámparas que mejor realicen el trabajo.

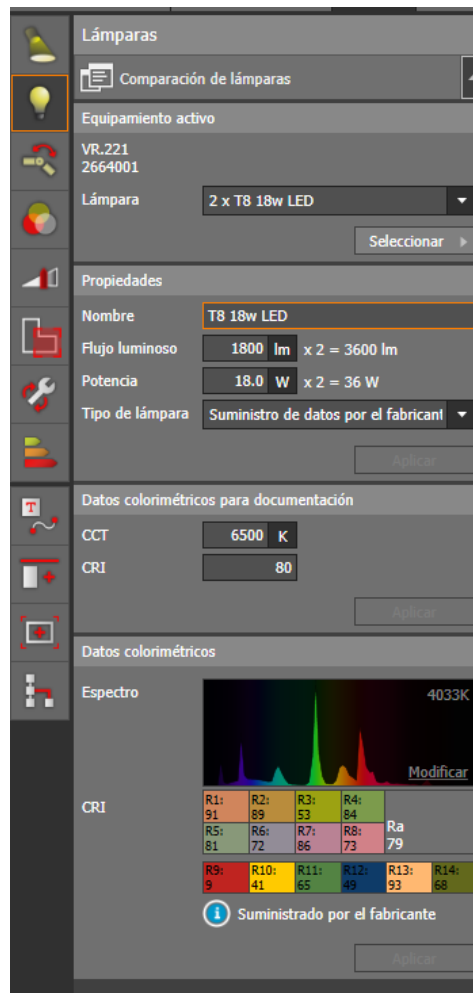


Ilustración 18. Configuración de lámpara

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La Ilustración 18, nos muestra cómo se puede configurar la lámpara de acuerdo a la fotometría que ofrezcan los diferentes proveedores, o si se cuenta con los respectivos archivos fotométricos suministrados por el fabricante, de este modo el software asume los valores de la luminaria de manera automática.



Ilustración 19. Instalación de luminarias

En la Ilustración 19, se observa el diseño completo de la sala de reuniones, en el cual se tienen en cuenta los diferentes elementos que hacen parte del entorno del espacio de trabajo, para obtener los resultados más exactos en la simulación.

A partir de este momento se puede correr la simulación para que el software con base en la información y detalles de diseño interior suministrado pueda evaluar el ambiente y el nivel de iluminación de acuerdo con la cantidad de luminarias seleccionadas por el diseñador. Cabe anotar que, el software posee una modalidad para anidar las luminarias de manera automática de acuerdo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

con la parametrización previa. Ambas vías son viables, pero ante todo se debe respetar los criterios de diseño y exigencia de la norma.

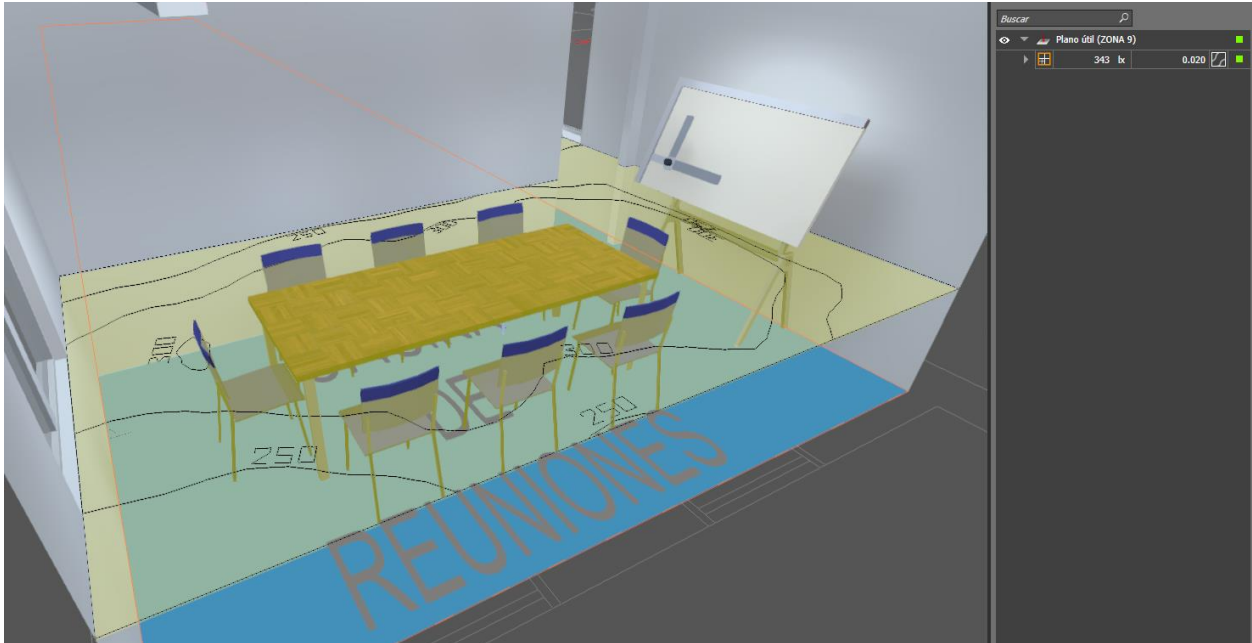


Ilustración 20. Cálculo sobre el plano de trabajo

La Ilustración 20, se muestra los cálculos que arroja el software, en el cuadro superior derecho se observa el valor medio de iluminación. Para este caso la sala de reuniones hace parte de la zona 9 y se debe cumplir con un mínimo de 300 lux. En estos momentos posee 343 lux en promedio, lo cual demuestra que el sistema de iluminación cumple con los requerimientos técnicos establecidos por el RETILAP. El software permite correr zona a zona las condiciones de iluminación o de manera completa el diseño. Sin embargo, si se corre de manera individual cada zona, tiene en cuenta la influencia directa o indirecta de las demás zonas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3.2.1. Procedimiento para el cálculo de potencia consumida por el sistema de iluminación y costo de inversión.

En esta sección se establece la formulación matemática requerida para el cálculo de los costos de operación e inversión de los sistemas de iluminación, considerados para la planta de manufactura de ascensores aquí analizada, los cuales son calculados a partir de los diseños actuales y propuestos dentro de este proyecto de investigación.

#### 3.2.1.1. Cálculo de costo de operación:

Para determinar al cálculo de los costos anuales de operación del sistema de iluminación, se deben establecer una serie de ecuaciones que al final nos entregaran el resultado requerido.

La Ecuación (2) establece el factor de utilización de las luminarias para un día de operación ( $FU_d$ ), el cual debe ser evaluado para los diferentes días en que opera la empresa en cada zona de trabajo, de lunes a sábado en el caso analizado en este proyecto de investigación. En dicha ecuación  $FU_{hi}$  representa el factor de utilización horario del sistema de iluminación,  $NLM$  describe el número total de luminarias instaladas en la zona bajo análisis y  $n$  el número de horas que opera cada zona de trabajo, 24 horas para el caso de estudio. Es importante tener en cuenta que, si en una zona existen diferentes tipos de luminarias, se debe calcular el factor de utilización de cada tipo de luminaria dentro de la zona analizada.

$$FU_d = NLM * \sum_{i=1}^{n=24} FU_{hi} \quad (2)$$

Luego de definir el  $FU_d$  para cada zona de trabajo, considerando los diferentes tipos de luminarias empleados y días de la semana en que esta ópera, se procede a emplear la Ecuación (3),



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la cual permite determinar la potencia total requerida para cada día de la semana, por las zonas de trabajo que usen el mismo tipo de luminaria. Donde  $Pd_i$ , representa la potencia total requerida por todas las zonas de trabajo que usan el mismo tipo de luminaria [ $kW/día$ ], la cual debe ser calculada para cada día de la semana (i). Donde  $Tl$  representa la potencia del tipo de luminaria seleccionada,  $m$  representa el número de zonas que emplea el tipo de luminaria bajo análisis y  $S$  es el conjunto que contiene todos los días de operación de la semana.

$$Pd_i = \frac{Tl * \sum_{i=1}^m FU_{di}}{1000}, \forall i \in S \quad (3)$$

Luego, para calcular el consumo total anual por tipo de luminaria, se debe determinar la cantidad de días hábiles en los cuales se laborará durante el año. Para lo cual se presenta la Tabla 3.

Tabla 3. Cantidad de días hábiles trabajados por año

<b>DÍA</b>	<b>DÍAS HÁBILES DE TRABAJO / AÑO</b>
<b>LUNES</b>	# de lunes hábiles al año
<b>MARTES</b>	# de martes hábiles al año
<b>MIÉRCOLES</b>	# de miércoles hábiles al año
<b>JUEVES</b>	# de jueves hábiles al año
<b>VIERNES</b>	# de viernes hábiles al año
<b>SÁBADO</b>	# de sábado hábiles al año
<b>DOMINGO</b>	# de domingo hábiles al año
<b>TOTAL DÍAS</b>	$\sum$ Sumatoria de días hábiles

Para obtener el consumo total anual por tipo de luminaria se emplea la Ecuación (4). Donde,  $Ct$  representa el consumo total por año para cada tipo de luminaria [ $kWh/año$ ],  $Da$  corresponde al número total veces que se repite cada día de la semana durante el año de operación,  $k$  corresponde

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

al número de días de la semana que opera el sistema bajo análisis y  $L$  es el conjunto que contiene todos los tipos de luminaria empleados dentro del sistema de iluminación.

$$Ct_i = \sum_{k=1}^k (Pd_k * Da_k) \quad \forall k \in L \quad (4)$$

Por último, para determinar el costo de operación de energía al año del sistema se aplica la Ecuación (4), donde  $Vt$  es el costo total de operación del sistema de iluminación por concepto de consumo de energía en un año de operación [ $COP/año$ ], y  $Tp$  es la tarifa que aplica el proveedor de energía por kWh, 482.4 pesos colombianos [ $COP$ ] para este proyecto de investigación.

$$Vt = Tp * \sum_{i=1}^n Ct_i \quad (5)$$

Con la formulación matemática anteriormente descrita, es posible establecer los costos asociados a la operación del diseño del diseño de iluminación actual y propuesta.

### 3.2.1.2. Cálculo de costo de inversión:

Los costos de inversión en este proyecto de investigación están asociados a los cambios que se realicen al diseño original del sistema de iluminación; como es el caso del cambio de tipo de luminarias, cambio de la lámpara e integración o retiro de luminarias en las diferentes zonas de trabajo, reposición de luminaria por finalización de ciclo de vida útil y costos de mano de obra. A este último se le asigna el valor por concepto de personal técnico calificado y elementos para llevar a cabo la labor. Este costo se define por cada compañía, es decir los costos pueden variar según el caso y empresa bajo estudio.

La Ecuación (6) determina el costo de inversión total, donde  $Lt$  representa el costo total de inversión inicial para cada de diseño,  $Li$  representa el costo inicial por concepto de nuevas luminarias, lámparas y accesorios para luminaria,  $Lm$  representa el costo de mano de obra por

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

instalación de cada luminaria y  $Ld$  representa el costo por cambio de lámparas desgastadas. Todos los costos anteriormente descritos se dan en [COP].

$$L_t = L_i + L_m + L_d \quad (6)$$

Para determinar la vida útil de las lámparas por zona de trabajo es la siguiente: donde  $V_i$ , cantidad de horas en uso de las luminarias [*horas de uso/año*],  $n$  el número de horas que opera cada zona de trabajo, 24 horas para el caso de estudio,  $D_a$  corresponde al número total veces que se repite cada día de la semana durante el año de operación,  $k$  corresponde al número de días de la semana que opera el sistema bajo análisis

$$V_i = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n F U_d * \sum_{k=1}^{k=7} D_a \quad (8)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4. Resultados y discusión

##### 4.1. Resultado de diseño de iluminación aplicando el software especializado DIALux evo.

A partir de la información recolectada para el sistema de iluminación de la planta de manufactura, se procede a evaluar el caso base (luminarias instaladas en la planta), y dos estrategias de URE para garantizar la calidad en la iluminación y mejorar las condiciones técnico-operativas en las diferentes zonas de trabajo, las cuales se describen a continuación:

**Caso base:** corresponde al estado actual de la planta de manufactura en cuanto a distribución, cantidad, disposición de luminarias y niveles de iluminación presentes en cada una de las zonas de trabajo descritas en la Ilustración 2. La cantidad de las luminarias en este caso se encuentra especificada por zona de trabajo en la Tabla 1. El tipo de luminaria y la cantidad empleada por espacio se describe en la sección 3 de este documento.

**Caso 1:** En este caso, al sistema de iluminación actual se le adicionarán la cantidad luminarias necesarias para cumplir con los niveles de iluminación requeridos, siendo estas iguales a las instaladas en cada zona de trabajo dentro del caso base.

**Caso 2:** En este caso de prueba se presenta una estrategia de reconversión tecnológica, empleando luminarias tipo de LED. Uno de los aspectos importantes para seleccionar el tipo de luminaria LED, es su compatibilidad con los chasis de las luminarias fluorescente existentes en cada zona de trabajo de la planta de manufactura actualmente instaladas, con el objetivo de no requerir el cambio de todas las luminarias de la planta. El tipo y características de las luminarias LED empleadas en cada zona, se describen en la tabla 4.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 4. Tipo de luminarias caso 2

Zona	Tipo de luminaria	Tipo de chasis	Potencia por luminaria instalada (W)	Datos técnicos lámpara (tubo)
<b>Zona N°1</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°2</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°3</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°4</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°5</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°6</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°7</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°8</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°9</b>	2x18W LED	Abierto	36	Ver anexo n°3
<b>Zona N°10</b>	2x25W LED	Hermético	50	Ver anexo n°4
<b>Zona N°11</b>	2x18W LED	Abierto	36	Ver anexo n°3

Los resultados obtenidos al emplear todos los 3 casos anteriormente mencionados se presentan en la Tabla 5, la cual presenta dentro de su contenido de izquierda a derecha: caso de estudio, análisis luminotécnico de cada zona, cantidad y tipo de luminarias requeridas, potencia instalada por zona y potencia total del diseño y valores de iluminación obtenidos de cada caso de estudio. Los cuales son analizados a continuación para cada uno de los casos empleados:

**Caso base:** para este caso de simulación se respetaron las cantidades, posición y distribución de las diferentes luminarias que forman el sistema de iluminación de la planta de manufactura , en busca de que los resultados obtenidos se ajusten a la realidad que tiene esta planta, y de esta manera identificar que zonas cumplen y cuales no cumplen con el RETILAP.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

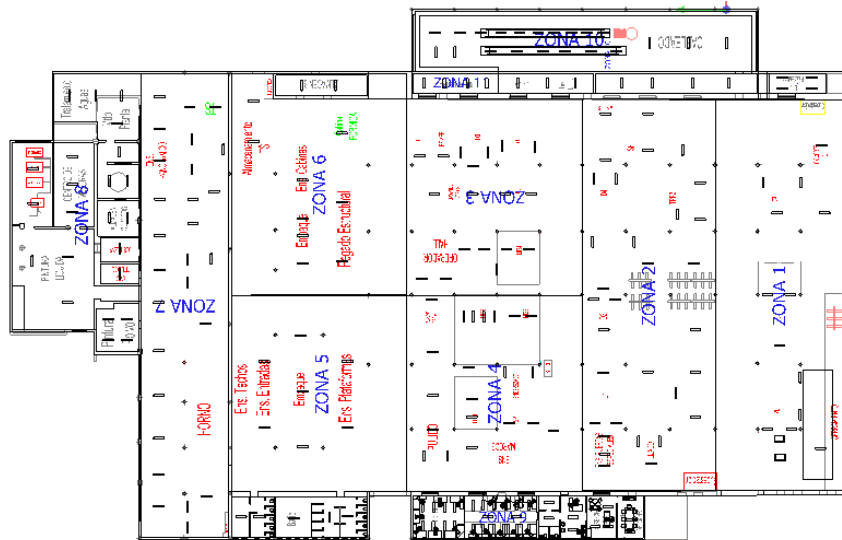


Ilustración 21. Distribución de luminarias caso base

La Ilustración 21 presenta la distribución actual de las luminarias dentro de la planta de manufactura para cada zona de trabajo. Su posición, distribución y cantidad de luminarias obedece al diseño originalmente definido.



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Como se puede evidenciar en Tabla 5, de las 11 zonas existentes dentro de la planta de manufactura, solo 3 zonas de trabajo cumplen con las especificaciones técnicas de solución impuestas, las demás están por debajo de los parámetros requeridos según la normatividad.

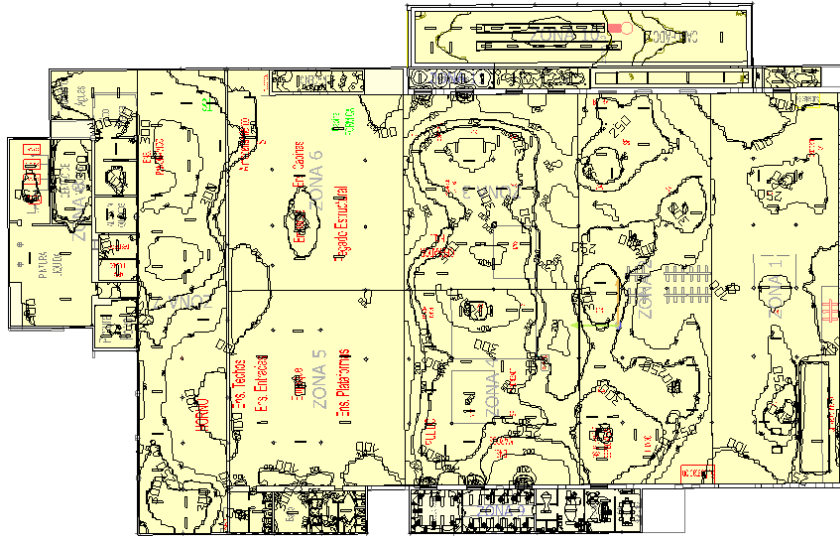


Ilustración 22. Cálculo de iluminancias del software DIALux-evo caso base

**Caso 1:** usando el mismo tipo de luminarias se obtiene que, para lograr que el diseño se ajuste a la norma, se requiere un aumento de potencia cerca del 39%, sobre la capacidad instalada en el caso base, con un aumento de 79 luminarias, que representas un 35% más de unidades respecto al diseño actual. En este diseño gracias a la distribución automática del software se logra cumplir con los límites de iluminación establecidos para cada zona de trabajo.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

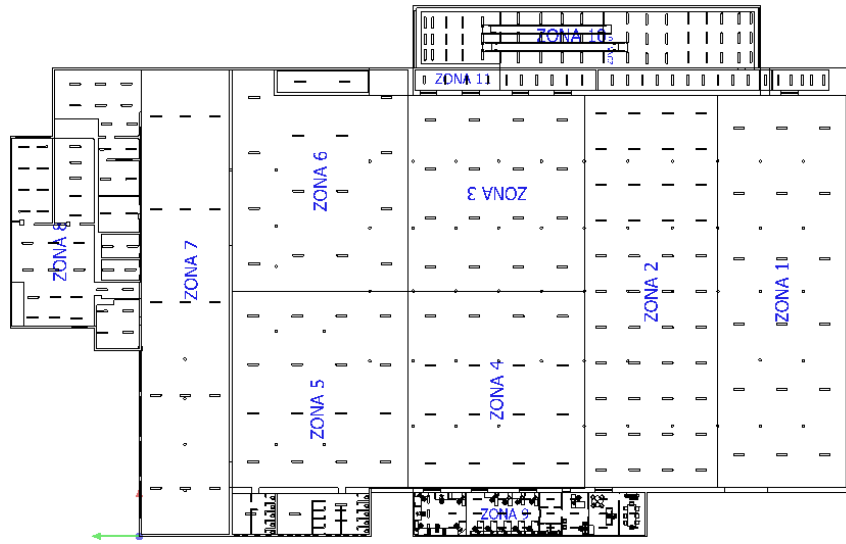


Ilustración 23. Distribución de luminarias caso 1



Ilustración 24. Cálculo de iluminancias del software DIALux-evo caso 1

**Caso 2:** usando luminaria tipo LED, descritas en la Tabla 5, se lleva a cabo el diseño y simulación hasta que se ajuste a los valores que exige la norma. Empleando este tipo de luminaria, se disminuye cerca del 21% de la capacidad de potencia instalada de la planta, pero se observa un incremento de luminarias, siendo necesario instalar 144 luminarias y 454 lámparas en los chasis

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

existentes del caso base, para cumplir con los niveles de iluminación requeridos. Esto representa un aumento de luminarias del 64% respecto al diseño del caso base. En este diseño gracias a la distribución automática del software, la simetría y distribución de las luminarias ofrece un mejor desempeño, la distribución de las luminarias y sus respectivas líneas isométricas de los diferentes espacios se presentan en la Ilustraciones 25 y 26, respectivamente.

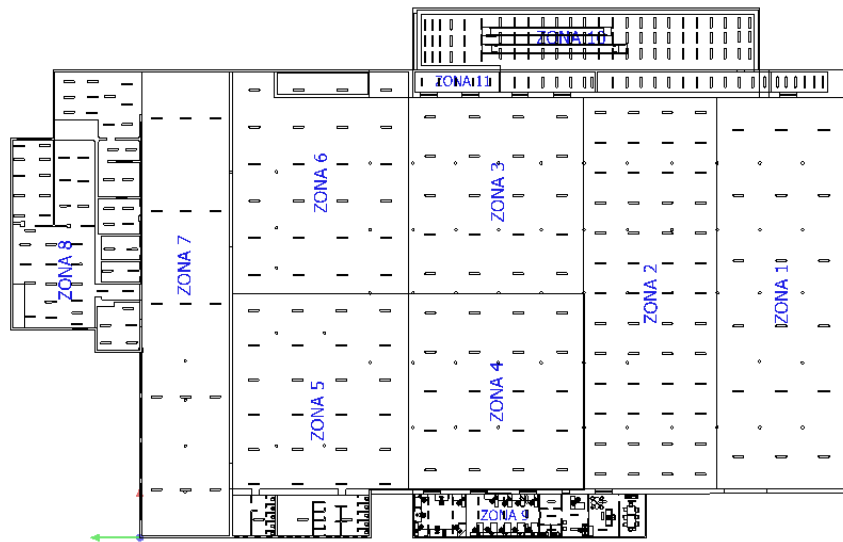


Ilustración 25. Distribución de luminarias caso 2

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

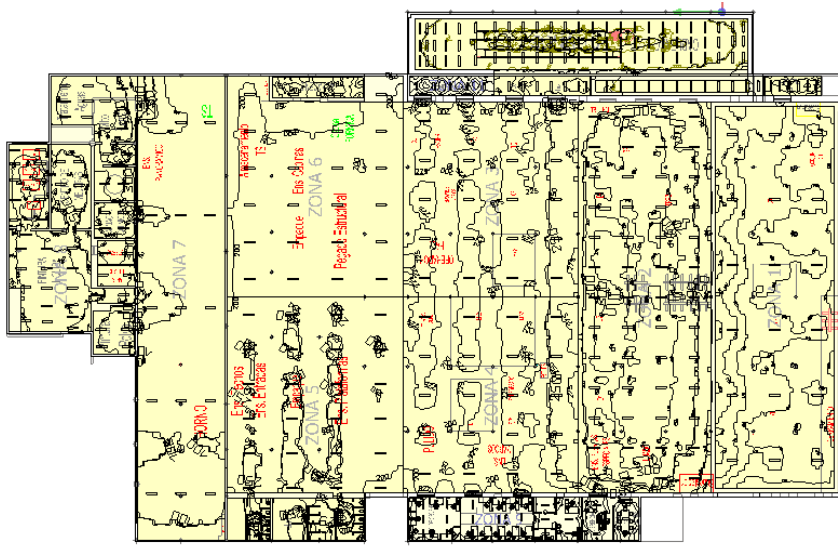


Ilustración 26. Cálculo de iluminancias del software DIALux-evo caso 2

#### **4.2. Análisis económico de casos de iluminación considerados para la planta de manufactura.**

Se realizó el cálculo de costos de inversión y de operación, asociado a cada uno de los casos bajo análisis, siendo importante mencionar que para el caso 1 solo se considera el costo de inversión asociado al reemplazo de luminarias necesario para alcanzar la vida útil de la luminaria con mayor tiempo de uso (luminaria LED).

Por otro lado, también se consideró el IPC dentro de los costos de operación anuales, para que el cálculo y planificación del proyecto se ajuste con mayor exactitud a la inversión que la compañía debe realizar durante el tiempo de vida útil más largo presentada por los tipos de luminarias instaladas (10 años). En promedio durante los últimos 10 años el IPC para la República de Colombia se encuentra en un promedio del 4%. Para elaborar el cálculo de ROI, se usará un IPC

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

del 4% (Banco de la república, 2019), por lo cual este valor fue tenido en cuenta como el incremento anual del costo de operación.

#### 4.2.1. Análisis costos de operación caso base

Para elaborar los costos de operación e inversión del diseño se empleará la metodología descrita en la sección 3.2.1 de este informe. Los resultados obtenidos para el caso base se presentan a continuación:

Tabla 6. Factor utilización diario para cada zona de trabajo caso base

<b>Zona</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>Zona 1</b>	112,0	99,0	95,0	97,0	100,0	90,0	0,00
<b>Zona 2</b>	269,0	266,0	245,0	303,0	303,0	227,0	0,00
<b>Zona 3</b>	66,0	105,0	83,0	108,0	64,0	56,0	0,00
<b>Zona 4</b>	96,0	148,0	117,0	142,0	96,0	113,0	0,00
<b>Zona 5</b>	26,0	100,0	102,0	33,0	26,0	72,0	0,00
<b>Zona 6</b>	98,0	117,0	84,0	96,0	98,0	72,0	0,00
<b>Zona 7</b>	97,0	170,0	152,0	100,0	97,0	78,0	0,00
<b>Zona 8</b>	97,0	98,0	95,0	140,0	97,0	116,0	0,00
<b>Zona 9</b>	312,0	282,0	302,0	372,0	312,0	364,0	0,00
<b>Zona 10</b>	303,0	358,0	329,0	379,0	303,0	303,0	0,00
<b>Zona 11</b>	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0	0,00

En la Tabla 6, se indican los valores  $FU_d$  obtenidos para los diferentes días de la semana. Cada campo indica la cantidad de luminarias utilizadas en 24 horas de operación, por cada zona de operación, en los diferentes días bajo análisis. Dentro de esta tabla se observa que en el día domingo no hay uso de luminarias, esto se debe a que la compañía no labora durante ese día, en caso hacerlo se aplica la metodología de igual modo.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Posteriormente, es calculada la potencia requerida por todas las zonas de trabajo cada día de la semana que usen el mismo tipo de luminaria. Para lo cual es empleada la Ecuación (3). Luego se determina el consumo por tipo de luminaria al año, aplicando la Ecuación (4) y se determina los días de trabajo en el año para la empresa en análisis (ver Tabla 7).

Tabla 7. Días hábiles del año 2019 para la compañía

<b>Días</b>	<b>Días de trabajo / año</b>
<b>Lunes</b>	43
<b>Martes</b>	52
<b>Miércoles</b>	49
<b>Jueves</b>	51
<b>Viernes</b>	51
<b>Sábado</b>	51
<b>Domingo</b>	0

La Tabla 7, obedece al recuento de días hábiles por día de la semana que esta compañía labora durante el año.

Después de tener todos los consumos por tipo de luminarias se establece el costo total de operación de energía del sistema de iluminación utilizando la Ecuación (5). Para este caso en particular solo se usaron dos tipos de luminarias y la tarifa del proveedor se define en COP \$482.4 (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2019). La Tabla 8 presenta los consumos de potencia por día para cada tipo de luminaria, los consumos de potencia semanales y costo anual de operación del sistema de iluminación, al emplear la metodología antes descrita.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 8. Consumo y costo de operación caso base [kWh - COP]

Tipo de luminaria	Lunes (kW/d)	Martes (kW/d)	Miércoles (kW/d)	Jueves (kW/d)	Viernes (kW/d)	Sábado (kW/d)	Sub-Total (kWh/año)
<b>2x54W fluorescente</b>	125,71	157,79	140,62	150,98	127,87	121,72	40929,95
<b>2x32W fluorescente</b>	24,06	22,14	23,42	27,90	24,06	27,39	7381,38
<b>Total Costo de operación anual [\$]</b>							<b>\$ 23.305.383</b>

En la primer columna se especifican los tipos de luminarias empleadas para el caso base, en las columnas siguientes de izquierda a derecha se presenta los días de lunes a viernes se indica la potencia requerida por cada día de uso. En la última columna se presenta el consumo total por tipo de luminaria anual ( $C_t$ ), los cuales corresponden a un valor de 40929.95 kWh para la luminaria 2x54w fluorescente y un valor de 7381.38 kWh para la luminaria de 2x32w fluorescente, ambos valores para un año de trabajo en esta planta de manufactura.

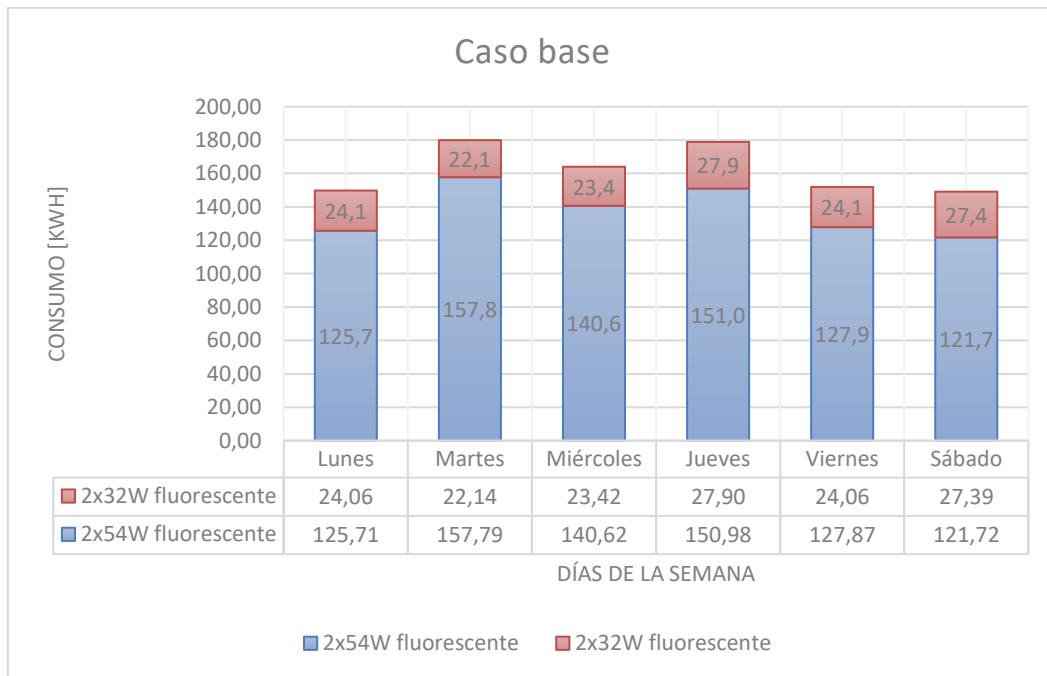


Ilustración 27. Potencia por día requerida por el sistema de iluminación en el caso base

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Ilustración 27, se muestra la potencia requerida para cada día de la semana, en el sistema de iluminación en la planta de manufactura por tipo de luminarias instaladas dentro del caso base. En donde se evidencia que los días lunes, viernes y sábados presentan un consumo similar, que los días martes y jueves presentan los mayores consumos de potencia.

#### 4.2.2. Análisis costos de operación caso 1

En esta sección son calculados los costos de operación asociados al caso 1. Es importante recordar que este sistema emplea el mismo tipo de luminarias que el caso base, integrando las luminarias necesarias para que las diferentes zonas analizadas cumplir con los requerimientos técnicos exigidos por la norma técnica colombiana.

Tabla 9. Factor utilización diario para cada zona de trabajo caso 1

Zona	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Zona 1</b>	155,08	137,08	131,54	134,31	138,46	124,62	0,00
<b>Zona 2</b>	369,88	365,75	336,88	416,63	416,63	312,13	0,00
<b>Zona 3</b>	58,67	93,33	73,78	96,00	56,89	49,78	0,00
<b>Zona 4</b>	73,14	112,76	89,14	108,19	73,14	86,10	0,00
<b>Zona 5</b>	43,33	166,67	170,00	55,00	43,33	120,00	0,00
<b>Zona 6</b>	142,55	170,18	122,18	139,64	142,55	104,73	0,00
<b>Zona 7</b>	51,96	91,07	81,43	53,57	51,96	41,79	0,00
<b>Zona 8</b>	211,64	213,82	207,27	305,45	211,64	253,09	0,00
<b>Zona 9</b>	275,29	248,82	266,47	328,24	275,29	321,18	0,00
<b>Zona 10</b>	748,03	883,81	812,22	935,66	748,03	748,03	0,00
<b>Zona 11</b>	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00	0,00

En la Tabla 9, se indican los valores  $FU_d$  obtenidos para los diferentes días de la semana. El paso siguiente consiste en calcular la potencia requerida por todas las zonas de trabajo cada día de la semana que usen el mismo tipo de luminaria. Para lo cual es empleada la Ecuación (3). Luego

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

se determina el consumo por tipo de luminaria al año, aplicando la Ecuación (4) y se determina los días de trabajo en el año para la empresa en análisis (ver Tabla 7).

Tabla 10. Consumo y costo de operación caso 1 [kWh - COP]

Tipo de luminaria	Lunes (kW/d)	Martes (kW/d)	Miércoles (kW/d)	Jueves (kW/d)	Viernes (kW/d)	Sábado (kW/d)	Sub-Total (kWh/año)
<b>2x54W fluorescente</b>	195,58	223,32	200,28	236,46	198,64	185,79	61501,89
<b>2x32W fluorescente</b>	21,71	20,02	21,15	25,10	21,71	24,65	6656,10
<b>Total Costo de operación anual [\$]</b>							<b>\$ 32.879.413</b>

Los consumos de potencia totales obtenidos para los diferentes días de operación analizados, corresponden a un valor de 61501.89 kWh para la luminaria 2x54w fluorescente y un valor de 6656.10 kWh para la luminaria de 2x32w fluorescente, ambos valores para una año de operación de planta de manufactura. En la Ilustración 28 se muestra la potencia requerida para cada día del sistema de iluminación en la planta de manufactura por tipo de luminarias instaladas dentro del caso 1.



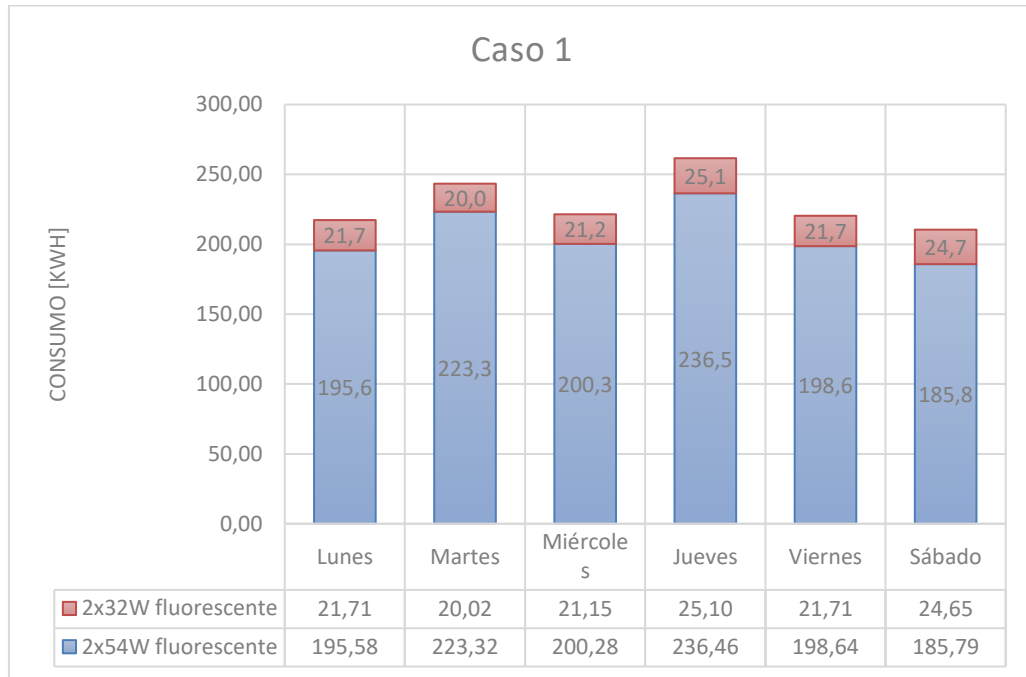


Ilustración 28. Potencia por día requerida por el sistema de iluminación en el caso 1

Según la información detallada en la Ilustración 28, se detalla la potencia requerida para cada día de la semana, esto basado en la cantidad y el tipo de luminarias activas por zona en el sistema de iluminación en la planta de manufactura. Analizando el comportamiento de la Ilustración 28, se evidencia que los días de mayor consumo son los martes y jueves. Presentando niveles de potencia más elevados que en el caso base, asociado al incremento de luminarias instaladas dentro de la planta.

#### 4.2.3. Análisis costos de operación caso 2

Los consumos de operación asociados al tipo luminaria LED, son presentados en esta sección.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 11. Factor utilización diario para cada zona de trabajo.

Zona	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Zona 1</b>	155,08	137,08	131,54	134,31	138,46	124,62	0,00
<b>Zona 2</b>	437,13	432,25	398,13	492,38	492,38	368,88	0,00
<b>Zona 3</b>	73,33	116,67	92,22	120,00	71,11	62,22	0,00
<b>Zona 4</b>	91,43	140,95	111,43	135,24	91,43	107,62	0,00
<b>Zona 5</b>	60,67	233,33	238,00	77,00	60,67	168,00	0,00
<b>Zona 6</b>	213,82	255,27	183,27	209,45	213,82	157,09	0,00
<b>Zona 7</b>	51,96	91,07	81,43	53,57	51,96	41,79	0,00
<b>Zona 8</b>	273,36	276,18	267,73	394,55	273,36	326,91	0,00
<b>Zona 9</b>	247,76	223,94	239,82	295,41	247,76	289,06	0,00
<b>Zona 10</b>	946,88	1118,75	1028,13	1184,38	946,88	946,88	0,00
<b>Zona 11</b>	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	0,00

Para este caso de prueba, se obtuvo un consumo total de potencia de 17662.44 kWh para la luminaria 2x25w LED y un valor de 3609.15 kWh para la luminaria de 2x18w LED, ambos valores para un año de trabajo en esta planta de manufactura.

Tipo de luminaria	Lunes (kW/d)	Martes (kW/d)	Miércoles (kW/d)	Jueves (kW/d)	Viernes (kW/d)	Sábado (kW/d)	Sub-Total (kWh/año)
<b>2x25W LED</b>	56,07	64,21	57,35	68,10	56,98	53,40	17662,44
<b>2x18W LED</b>	11,80	10,94	11,51	13,51	11,80	13,29	3609,15
<b>Total Costo de operación anual [\$]</b>							<b>\$ 10.261.414</b>

En la Ilustración 29, se muestra la potencia requerida para cada día de la semana del sistema de iluminación en la planta de manufactura, analizando por tipo de luminarias instaladas y su uso diario según el caso de estudio 2. En donde se evidencia que los días lunes y jueves tiene un comportamiento similar en cuanto a consumo tanto en las luminarias tipo LED 2X18W como en las tipo LED 2X25W. Cabe destacar que, el día de la semana que presenta el consumo de potencia más elevado, es el día jueves teniendo el mayor número de luminarias activas.

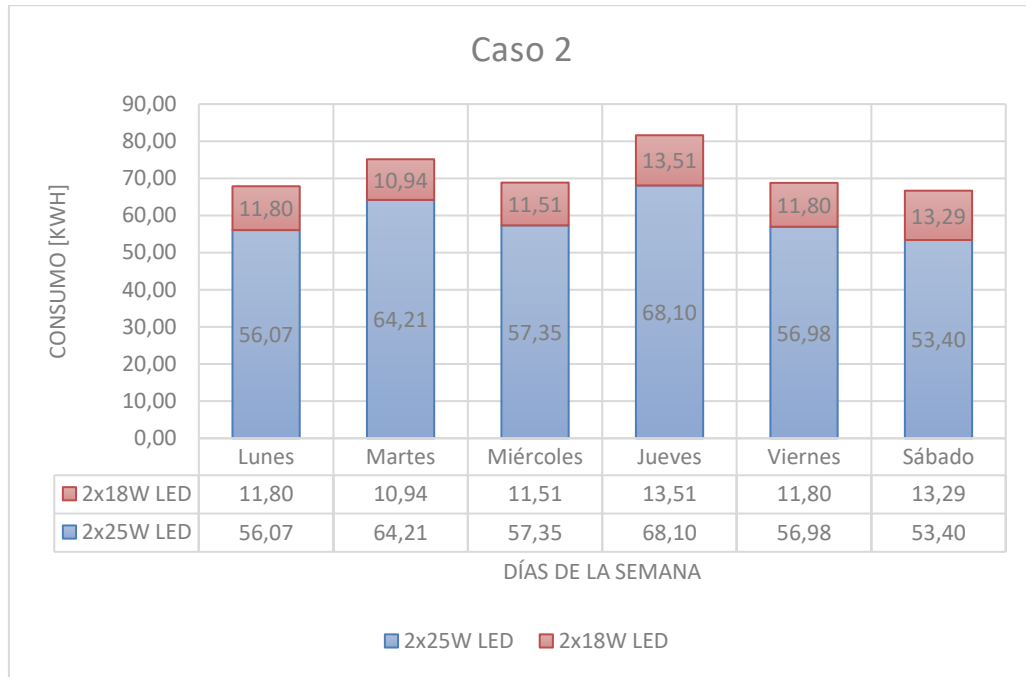


Ilustración 29. Consumo total por día del sistema de iluminación del caso 1

#### 4.2.4. Costos de inversión inicial y de mano de obra para cada caso

Los costos de inversión se calcularon para los casos 1 y 2, ya que el caso base es el actualmente está instalado en la planta de manufactura no cumple con los requerimientos técnicos exigidos por norma.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 13. Tabla costos de inversión con ajuste técnico operativo bajo DIALux evo

N°	Concepto	Tipo de luminaria				Observaciones
		Diseño DIALux-evo caso 1		Diseño DIALux-evo caso 2		
1	Diseño					
2	Tipo de luminaria	2x54W T5 fluorescente	2x32W T8 fluorescente	2x25W T5 LED	2x18W T8 LED	
3	Costo luminaria (COP)	\$ 101.000	\$ 95.000	\$ 89.000	\$ 84.000	
4	Costo tubo (COP)	\$ 7.000	\$ 4.500	\$ 18.000	\$ 15.000	
5	Vida útil (horas)	24000	20000	50000	40000	
6	Luminarias existentes (Und.)	189	38	189*	38*	* solo aplican los chasis, requiere cambio de lámpara
7	Luminarias requeridas por diseño (Und.)	358	34	452	46	
8	Luminarias adicionales a instalar por diseño DIALux-evo (Und.)	169	0	263	8	La diferencia en cantidad de luminarias es importante debido al no cumplimiento de norma del diseño actual
9	Costo luminarias (COP)	\$ 17.069.000	\$ -	\$ 23.407.000	\$ 672.000	
10	Tubos requeridos (Und.)	0	0	378	0	
11	Costo tubos (COP)	\$ -	\$ -	\$ 6.804.000	\$ -	
12	Costos cambio de lámparas diseño inicial (COP)	\$ -	\$ -	\$ 5.670.000	\$ 1.140.000	
13	Costo ajuste por instalación luminaria por unidad (COP)	\$ 85.000	\$ 30.000	\$ 85.000	\$ 30.000	
14	Subtotal costo de instalación (COP)	\$ 14.365.000	\$ -	\$ 22.355.000	\$ 240.000	
15	Sub total costo (COP)	\$ 31.434.000	\$ -	\$ 58.236.000	\$ 2.052.000	
	<b>Costo inversión inicial total (COP)</b>	<b>\$ 31.434.000</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 58.236.000</b>	<b>\$ 2.052.000</b>	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Tabla 13, se presentan las diferentes cantidades y costos de inversión, la cual indica los materiales y costos de mano de obra necesarios para integrar los diferentes sistemas de iluminación considerados en el caso 1 y 2. Esta tabla presenta de izquierda a derecha en sus columnas: el concepto considerado dentro de los costos de inversión, los costos relacionados a cada uno de los tipos de luminarias empleadas dentro de los casos de prueba y las observaciones relacionadas a cada concepto, en el caso en que fueron necesarias. Los costos reportados en esta tabla fueron tomados de la tabla costos de operación de la empresa ensambladora de ascensores.

Dentro de esta tabla, la fila 1 indica el caso de estudio que aplica, presentando de izquierda a derecha los valores de las luminarias fluorescentes y de las luminarias LED. La fila 3 y 4 de presentan los costos por tipo de luminaria y lámpara, respectivamente. La fila 5 presenta la vida útil de cada lámpara de acuerdo a la información del fabricante (Ver Anexos del 1 al 4). La fila 6 indica la cantidad de luminarias existentes y que serán utilizadas para los casos 1 y 2, en total son 189 luminarias de 2x54w T5 fluorescente y 38 luminarias de 2x32w T8 fluorescentes. La fila 7 indica la cantidad de luminarias nuevas que deben ser instaladas, para el caso 1 se requiere instalar 169 luminarias de 2x54w T5 y para el caso 2 se requiere instalar 263 luminarias de 2x25w T5 LED y 8 Luminarias de 2x18w LED. La fila de 9 presenta el costo de las luminarias adicionales que se deben instalar para cumplir con el diseño del caso 1 tienen un valor de \$17.069.000 y para el caso 2 un valor de \$23.407.000 para luminarias de 2x54w T5 LED y un valor de \$672.000 para luminarias de 2x18w T8 LED. Las filas 10 y 11 presentan la cantidad de lámparas que se cambiarán por renovación tecnológica, por lo tanto, solo aplica para el caso 2 en total son 378 unidades y un costo de \$6.804.000. Las filas 13 y 14 relacionan los costos por instalación de nuevas luminarias

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

y cambio de lámparas, estos costos incluyen personal calificado, sistemas en seguridad y salud ocupacional (SISO) para el caso 1 en valor total es de \$14.365.000 y para el caso 2 un valor de \$22.595.000. En la fila 16 se establecen los costos totales de inversión para cada caso de diseño, siendo para el caso 1 un valor total de \$31.434.000 y para el caso 2 un valor total de \$60.288.000.

#### 4.2.5. Costos cambio de luminarias.

Esta sección presenta los costos de cambio de luminarias durante el horizonte de tiempo analizado. Para establecer los costos totales asociados a los cambios de luminaria para el sistema de iluminación analizado, es importante determinar el uso total de estas durante un periodo determinado de tiempo. Para este caso se establece 50000 horas de uso como periodo de tiempo en que operaran las luminarias, dado que este es el tiempo de vida útil de la luminaria de mayor duración (2x25W T5 LED). En la Tabla 14, se presenta las horas de vida útil de cada tipo de lámpara, de acuerdo con las especificaciones del fabricante (Ver Anexos del 1 al 4).

Tabla 14. Vida útil de luminarias

<b>Concepto</b>	<b>Tipo de luminaria</b>			
<b>Tipo de luminaria</b>	2x54W T5 fluorescente	2x32W T8 fluorescente	2x25W T5 LED	2x18W T8 LED
<b>Vida útil (horas)</b>	24000	20000	50000	40000

Usando el factor de utilización diario ( $FU_d$ ) de las luminarias empleadas en la planta de manufactura, se construye la Tabla 15. Donde especifica el tiempo que permanecen en funcionamiento las luminarias del sistema de iluminación por zona de trabajo en cada año de operación. Permitiendo de esta manera determinar cuando el conjunto de luminarias instaladas en cada zona alcanza su vida útil.

 <b>Institución Universitaria</b>	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 15. Acumulado por años uso lámparas de acuerdo al factor de utilización

Zonas	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11
<b>Año 1</b>	2258,0	2495,1	1325,5	1678,3	1480,9	2542,5	1226,9	1446,8	2830,2	3055,1	4752,0
<b>Año 2</b>	4515,9	4990,2	2651,0	3356,6	2961,8	5085,0	2453,8	2893,5	5660,5	6110,2	9504,0
<b>Año 3</b>	6773,9	7485,3	3976,5	5034,9	4442,6	7627,5	3680,7	4340,3	8490,7	9165,2	14256,0
<b>Año 4</b>	9031,8	9980,4	5302,0	6713,1	5923,5	10170,0	4907,6	5787,0	11320,9	12220,3	19008,0
<b>Año 5</b>	11289,8	12475,5	6627,5	8391,4	7404,4	12712,5	6134,5	7233,8	14151,2	15275,4	23760,0
<b>Año 6</b>	13547,8	14970,7	7953,0	10069,7	8885,3	15255,0	7361,4	8680,5	16981,4	18330,5	28512,0
<b>Año 7</b>	15805,7	17465,8	9278,5	11748,0	10366,1	17797,5	8588,3	10127,3	19811,6	21385,5	33264,0
<b>Año 8</b>	18063,7	19960,9	10604,0	13426,3	11847,0	20340,0	9815,1	11574,0	22641,9	24440,6	38016,0
<b>Año 9</b>	20321,7	22456,0	11929,5	15104,6	13327,9	22882,5	11042,0	13020,8	25472,1	27495,7	42768,0
<b>Año 10</b>	22579,6	24951,1	13255,0	16782,9	14808,8	25425,0	12268,9	14467,5	28302,4	30550,8	47520,0

El periodo que se establece uso es de 10 años para todas las zonas de trabajo en la planta de manufactura, años de operación asignado para la luminaria de la vida útil más larga. Los valores se incrementan año a año acorde al factor de utilización diario de cada zona. De acuerdo con la vida útil reportada por cada luminaria, se calcula el número de luminarias que debe ser remplazado durante el periodo de tiempo analizado.

Tabla 16. Número de lámparas requeridas a cambiar por año

Tipo luminaria	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>2x54W T5 fluorescente</b>	0	0	0	0	0	0	158	0	120	36
<b>2x32W T8 fluorescente</b>	0	0	0	8	0	0	60	8	0	0
<b>2x25W T5 LED</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>2x18W T8 LED</b>	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0

La Tabla 16, especifica la cantidad y año de cambio de lámparas para los casos 1 y 2, con base en el factor de utilización y tiempo de uso de las luminarias determinado en la Tabla 15. Cabe notar que las luminarias tipo LED 2x25T5w y la luminaria 2x18T8w son más eficientes y perduran

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

más en el tiempo con respecto a las lámparas fluorescentes; según la tabla 15 las luminarias tipo LED tienen un periodo de vida útil de entre 7 y 9 años.

Tabla 17. Costo reposición de lámparas por año [COP]

Tipo luminaria	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
2x54W T5 fluorescente	0	0	0	0	0	0	\$358.976	0	\$ 272.640	\$ 81.792
2x32W T8 fluorescente	0	0	0	\$ 12.096	0	0	\$ 90.720	\$ 12.096	0	0
2x25W T5 LED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2x18W T8 LED	0	0	0	0	0	0	0	\$ 45.000	0	0

En la Tabla 17, se determina los costos por reposición de las luminarias y el año en cual se debe efectuar la inversión para mantener el sistema bajo condiciones técnico-operativas adecuadas. Se puede observar que solo para el año 8 se requiere reinvertir en la compra de lámparas LED de 18w y la luminaria LED de 25w no cumple con el ciclo de vida útil especificado por fabricante.

#### 4.3. Comparación entre los resultados obtenidos para cada caso.

En la sección 4.2 de este trabajo se establecen los diferentes costos asociados al diseño, consumo y reposición de lámparas. Los costos de mantenimiento asociados a las luminarias no se tienen en cuenta ya que el índice de protección (IP65) (Iluminet, 2019) para ambos tipos de luminarias (fluorescente y LED) es el mismo.

A continuación, se elaborará los retornos de inversión para el caso 1 y caso 2. Sin tener en cuenta el caso base ya que no cumple con normatividad aplicada a los sistemas de iluminación en Colombia.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.3.1. Comparativo de costos por operación y reposición: costos operativos

En la Tabla 18 se relacionan los costos operativos anuales de cada uno de los casos, valores tomados de las Tablas 8, 10 y 12. Aunque el caso base no cumple con normatividad, se tendrá en cuenta para evaluar el costo total de los casos 1 y 2, como línea base del ahorro obtenido por estos dos casos.

Tabla 18. Tabla comparativo de costos por operación y reposición

Comparativo costos de operación y reposición					
Año	Costo de operación caso Base	Costo de operación caso 1	Costo de operación caso 2	Reducción del gasto caso 1	Reducción del gasto caso 2
0					
1	\$ 23.305.383	\$ 32.879.413	\$ 10.261.414	-\$ 9.574.030	\$ 13.043.968
2	\$ 24.237.598	\$ 34.194.589	\$ 10.671.871	-\$ 9.956.991	\$ 13.565.727
3	\$ 25.207.102	\$ 35.562.373	\$ 11.098.746	-\$ 10.355.271	\$ 14.108.356
4	\$ 26.227.482	\$ 36.996.964	\$ 11.542.695	-\$ 10.769.482	\$ 14.684.787
5	\$ 27.264.485	\$ 38.464.746	\$ 12.004.403	-\$ 11.200.261	\$ 15.260.082
6	\$ 28.355.065	\$ 40.003.336	\$ 12.484.579	-\$ 11.648.271	\$ 15.870.485
7	\$ 29.489.267	\$ 42.053.165	\$ 12.983.963	-\$ 12.563.898	\$ 16.505.305
8	\$ 30.219.142	\$ 43.297.692	\$ 13.548.321	-\$ 13.078.550	\$ 16.670.821
9	\$ 31.415.812	\$ 45.290.144	\$ 14.045.254	-\$ 13.874.332	\$ 17.370.558
10	\$ 32.754.236	\$ 47.183.541	\$ 14.607.064	-\$ 14.429.305	\$ 18.147.172
<b>Total</b>	<b>\$ 278.475.572</b>	<b>\$ 395.925.963</b>	<b>\$ 123.248.310</b>	<b>-\$ 117.450.391</b>	<b>\$ 155.227.261</b>

La Tabla 18, especifica los costos de operación para cada uno de los casos y se tiene en cuenta el IPC y el costo de reposición de lámparas. Como se puede observar los costos operativos con el ajuste de diseño para el caso 1 por cantidad luminarias para que cumpla con normatividad, representa un aumento del gasto en un 42.17%, para el sistema de iluminación. Por otro lado, el caso 2, con tecnología LED disminuye los de operación del sistema de iluminación para la compañía en alrededor de un 55.74%, respecto al caso base.

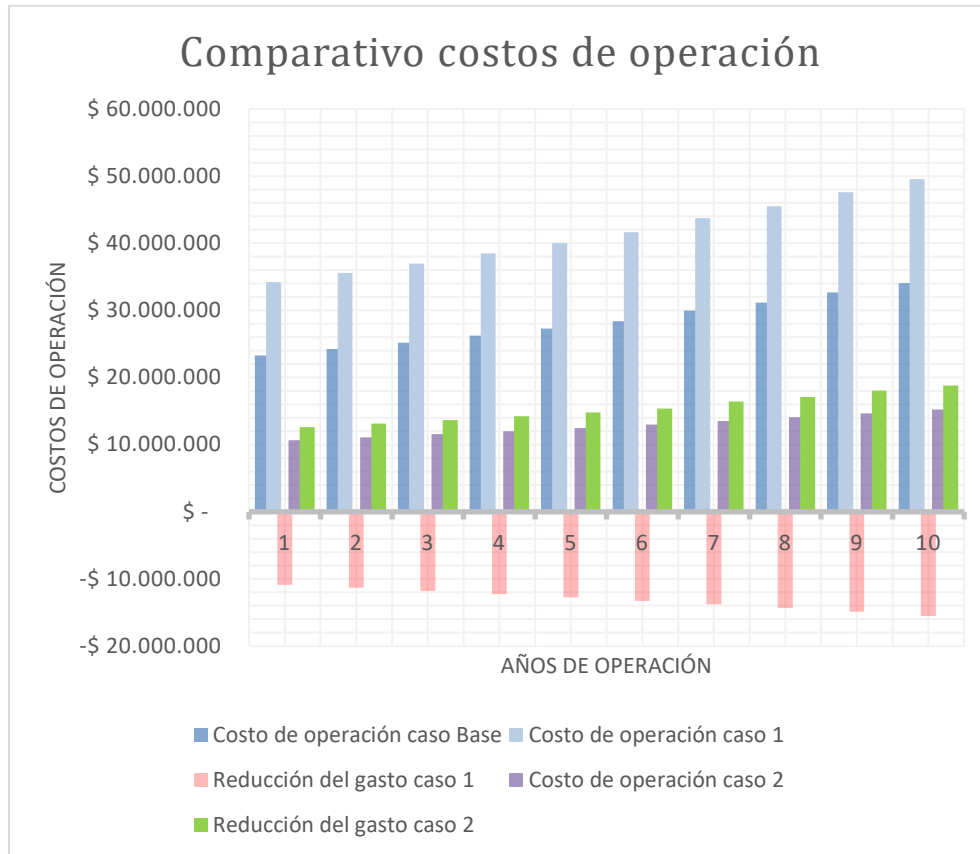


Ilustración 30. Comparativo de costos por operación y reposición

La Ilustración 30, muestra el comportamiento en cuanto a costos de operación y reposición de lámpara y luminarias, para los tres casos empleados. Uno de los puntos más importante es que el aumento del gasto para el caso 1, con relación al caso base; y la reducción de los costos operativos empleando las tecnologías LED propuestas en el caso 2.

#### 4.3.2. Análisis de retorno de inversión.

El sistema de iluminación hace parte de los gastos de la compañía por lo tanto lo que se busca establecer es la reducción de gastos de la compañía en el rubro de gastos por servicios. Es decir, un ahorro que permita en un lapso determinado de tiempo y con base en el ahorro del sistema de

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

iluminación un ROI mediano plazo, cumpliendo con los requerimientos técnicos establecidos para los espacios contenidos dentro de la planta de manufactura.

Tabla 19. Retorno de inversión (ahorro por costos de operación)

Retorno de inversión (ahorro por costos de operación)					
Año	Costo de operación caso Base	Costo de operación caso 1	Costo de operación caso 2	Ahorro del gasto caso 1	Ahorro del gasto caso 2
0		\$ -	\$ -	<b>-\$ 31.434.000</b>	<b>-\$ 55.815.285</b>
1	\$ 23.305.383	\$ 32.879.413	\$ 10.261.414	<b>-\$ 41.008.030</b>	<b>-\$ 42.771.317</b>
2	\$ 24.237.598	\$ 34.194.589	\$ 10.671.871	<b>-\$ 50.965.021</b>	<b>-\$ 29.205.589</b>
3	\$ 25.207.102	\$ 35.562.373	\$ 11.098.746	<b>-\$ 61.320.292</b>	<b>-\$ 15.097.233</b>
4	\$ 26.227.482	\$ 36.996.964	\$ 11.542.695	<b>-\$ 72.089.773</b>	<b>-\$ 412.446</b>
5	\$ 27.276.581	\$ 38.464.746	\$ 12.004.403	<b>-\$ 83.277.938</b>	\$ 14.859.732
6	\$ 28.367.645	\$ 40.003.336	\$ 12.484.579	<b>-\$ 94.913.630</b>	\$ 15.883.065
7	\$ 29.952.046	\$ 42.053.165	\$ 12.983.963	<b>-\$ 107.014.749</b>	\$ 16.968.084
8	\$ 31.162.224	\$ 43.297.692	\$ 13.548.321	<b>-\$ 119.150.217</b>	\$ 17.613.903
9	\$ 32.681.353	\$ 45.290.144	\$ 14.045.254	<b>-\$ 131.759.007</b>	\$ 18.636.099
10	\$ 34.070.399	\$ 47.183.541	\$ 14.607.064	<b>-\$ 144.872.149</b>	\$ 19.463.335

La Tabla 19 muestra cual es el comportamiento de los casos de diseño 1 y 2. De izquierda a derecha en la primera columna indicada la cantidad de años del proyecto que es de 10 años de acuerdo a la vida útil de la lámpara LED de 25W T5. En la columna “Ahorro del gasto caso 1”, no hay ahorro ya que se requiere realizar una inversión inicial de \$31.434.000 y adicional a esto para cumplir con la normatividad el caso de diseño aumenta sus gastos operativos anuales en un 42.17% respecto al caso base.

Por otro lado la columna “Ahorro del gasto caso 2”, Se observa que con la reducción de los costos operativos que se obtienen mediante el cambio de tecnología a luminarias LED en el caso 2, se obtiene una reducción del costo de operación del 55% respecto al caso base, por lo tanto la inversión inicial se amortiza en los primeros 5 años de uso del sistema de iluminación, por la

reducción del costo de operación del sistema de iluminación que ofrece el caso 2 para la planta de manufactura y que a su vez cumple con la norma.

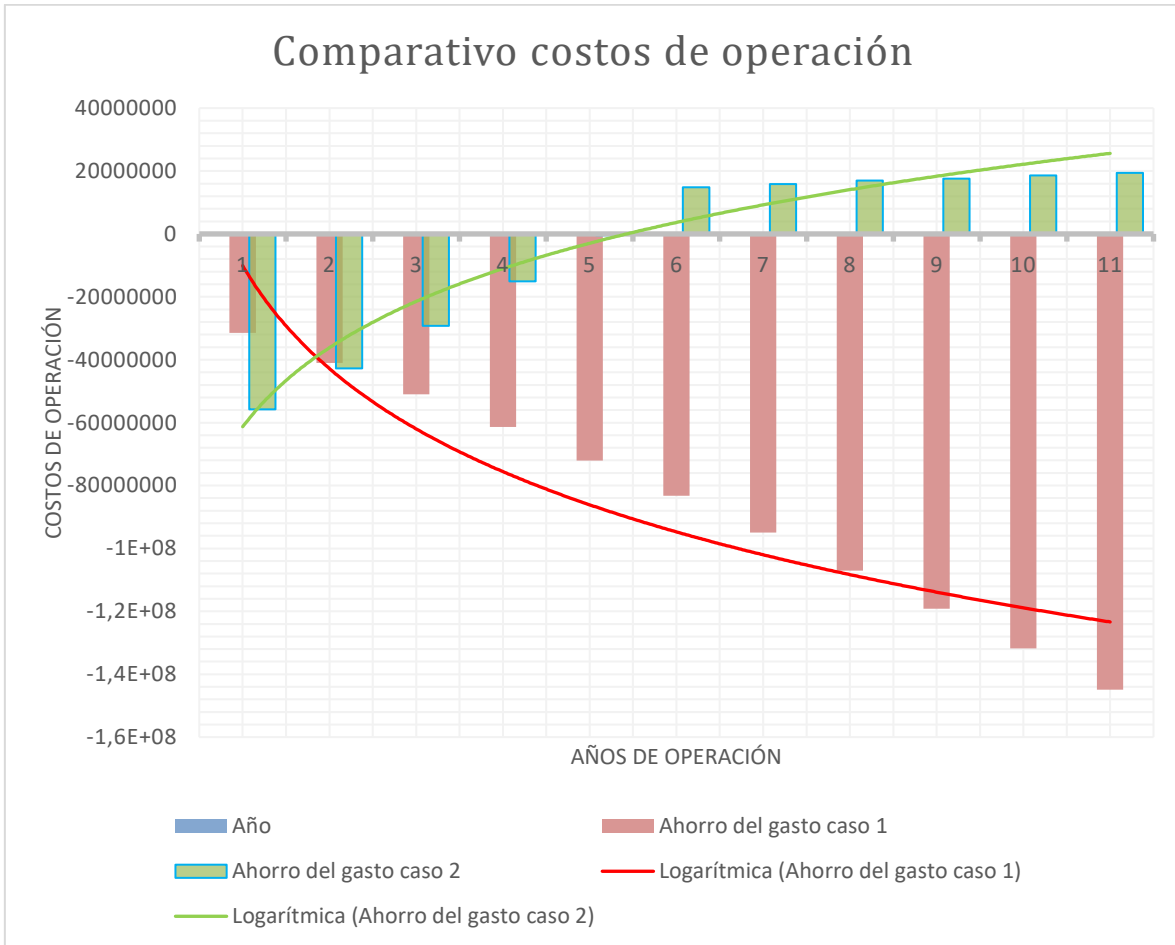


Ilustración 31. Comparativo costos de operación

La Ilustración 31, muestra el comportamiento a lo largo de 10 años de implementación de cada uno de los casos de estudio 1 y 2 en la planta de manufactura. Donde se demuestra que el caso 2 presenta las mejores condiciones técnico-económicas, alcanzando el pago completo del sistema en el año 5, presentando de ahí en adelante ahorros energéticos para la empresa, satisfaciendo todos los criterios técnicos establecidos por el Retilap.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. Conclusiones

Con la realización del análisis energético y la verificación de las condiciones técnicas del sistema de iluminación de la planta de manufactura, se establecieron diferentes estrategias de ahorro y uso racional de la energía, permitiendo identificar las falencias energéticas existentes.

Una vez comparados los resultados de los casos evaluados, con los niveles de iluminación recomendados para las zonas de trabajo, y según el RETILAP, se observa que el 90% de los puestos de trabajo no cumplen con los niveles mínimos de suficiencia lumínica de acuerdo a la actividad o recinto evaluado.

Según el análisis realizado, el caso base no cumple con los parámetros de iluminación establecidos, ya que de las 11 zonas solo cumplen 3 zonas de trabajo, las demás están por debajo de los parámetros requeridos según la normatividad y se evidencia que su diseño actual no es coherente y adecuado.

Se observa que el caso 1 cumple con la normativa establecida pero no es viable desde el punto de vista económico, ya que, se requiere un aumento de potencia cerca del 39%, sobre la capacidad ya instalada y se incrementaría el número de luminarias en 79 unidades más, lo que representa un 35% más de unidades respecto al diseño actual. De acuerdo a esto no es rentable económicamente el caso 1 ya que, se incrementaría en alrededor de \$ 11'000.000 los costos operacionales.

Se establece que el caso 2 es el mejor desde el punto de vista normativo y económico, ya que, con la utilización de las luminarias tipo led se disminuye la potencia instalada cerca del 21%, sobre

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la capacidad ya instalada en el caso base, logrando el ROI en el año 5 y se ahorra el 46% en costos de operación respecto al caso base actual

Con la utilización del software DIALux evo, se logró la distribución automática y simétrica de las luminarias, ofreciendo un mejor desempeño operativo de estas, es importante mencionar las grandes ventajas que se obtuvieron con la utilización y la renderización 3D que posee este software ya que, gracias a este, se establecieron soluciones eficientes de ahorro y conservación energética.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6. Recomendaciones

El uso eficiente de la energía constituye una de las más importantes opciones para contribuir con el cuidado y preservación del medio ambiente, es por esto que se recomienda Promover el Uso Racional de la Energía para que de esta forma se contribuya a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno de las compañías a nivel mundial.

Según el análisis realizado en el sistema de iluminación, la reducción de gastos de consumo energético en la planta de manufactura, la cual cuenta con iluminación tipo led, es de alrededor del 21%, y si este tipo de prácticas eficientes y sostenibles fuese llevado a otras áreas como lo son las bodegas de logística, las cuales cuentan con una iluminación fluorescente, se evidenciaría una gran ventaja económica en cuanto a una reducción total de gastos energéticos en la compañía.

Se recomienda construir una cultura para el manejo sostenible y eficiente de las fuentes energéticas y demás formas de energía no convencionales dentro de la compañía, con el fin de fortalecer las condiciones económicas, técnicas y operativas con la utilización de programas de ahorro energético.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 7. Referencias

Airboix, M. (30 de 10 de 2017). Como afecta a la vista el tipo de iluminacion.

Alcaldia mayor de Bogota. (09 de 2012). *Programa uso eficiente de la energia*. Obtenido de

Alcaldia mayor de Bogota: [http://www.idpc.gov.co/descargas/nosotros/mapa-de-procesos/MC-](http://www.idpc.gov.co/descargas/nosotros/mapa-de-procesos/MC-P03%20PROGRAMA%20USO%20EFICIENTE%20DE%20LA%20ENERGIA.pdf)

[P03%20PROGRAMA%20USO%20EFICIENTE%20DE%20LA%20ENERGIA.pdf](http://www.idpc.gov.co/descargas/nosotros/mapa-de-procesos/MC-P03%20PROGRAMA%20USO%20EFICIENTE%20DE%20LA%20ENERGIA.pdf)

Asociacion de ciencia ambientales ACA. (2016). *Sistemas De Iluminacion*. Obtenido de

Asociacion de ciencias ambientales:

<https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/conoce-la-energia-de-tu-vivienda/sistemas-de-suministro-energetico/sistemas-de-iluminacion>

Banco de la república. (2019). *Índice de precios al consumidor (IPC)*. Obtenido de

<http://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>

Congreso de la republica de Colombia. (10 de 2001). *LEY 697 DE 2001* . Obtenido de

<https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley-697-2001.pdf>

DIAL. (2019). *Diseño de iluminación profesional con DIALux*. Obtenido de

<https://www.dial.de/es/dialux-desktop/download/>

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (16 de 06 de 2019). *Tarifas y Costo de Energía Eléctrica*.

Obtenido de

<https://www.epm.com.co/site/Portals/0/documentos/Tarifas/Publicacion%20Septiembre%202016%202019.pdf?ver=2019-09-16-135537-037>



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Endesa Educa. (2019). *Rincon educativo*. Obtenido de Foro De La Industria Nuclear Española:

<http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/sistemas-de-iluminacion-la-importancia-de-la-luz>

energía, m. d. (2010). reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico. En *RETILAP* (pág. 227).

Fasst lighting SA. (2019). *IESNA*. Obtenido de [http://www.fasstlighting.com.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=135](http://www.fasstlighting.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=135)

FLUKE. (2019). *Analizador de la energía eléctrica Fluke 434 Serie II*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-co/producto/comprobacion-electrica/analizadores-de-calidad-electrica/analizadores-trifasicos-de-calidad-electrica/fluke-434-series-ii>

FLUKE. (2019). *Analizador de la energía eléctrica Fluke 434 Serie II*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-es/producto/comprobacion-electrica/calidad-de-la-energia-electrica/434-series-ii>

Hernández, C. d. (2003). *Física*. Cuerna Vaca, México: Progreso S.A., C.V.

[http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_211.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_211.htm). (02 de 05 de 2008).

Markfragt, B. (21 de 07 de 2017). *Cómo variar la velocidad en un motor eléctrico de corriente alterna*. Obtenido de <https://www.puromotores.com/13181620/como-variara-la-velocidad-en-un-motor-electrico-de-corriente-alterna>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2013). Enfoque de ciclo de vida del bien o servicio. *PORTAFOLIO DE BIENES Y SERVICIOS SOSTENIBLES*, 10.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ministerio de minas y energia. (30 de 03 de 2010). *ministerio de minas y energia*. Obtenido de

[https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540\\_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6](https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6)

Ministerio de minas y energía. (30 de 03 de 2010). *REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACION*

*Y ALUMBRADO PUBLICO. RETILAP.* Obtenido de

[https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540\\_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6](https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6)

Ministerio de minas y energía. (30 de 03 de 2010). *REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN*

*Y ALUMBRADO PUBLICO. RETILAP.* Obtenido de

[https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540\\_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6](https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6)

Orza Couto, A. (2016). *La Electricidad: Conceptos, Fenómenos y Magnitudes Electricas*.

Obtenido de

<http://www.edu.xunta.gal/centros/cpiantonioorzacouto/system/files/TEMA%202%20LA%20ELECTRICIDAD%20I.pdf>

Trejos Londoño, j. (2018). *DISEÑO PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN UNA EMPRESA*

*MANUFACTURERA*. Manizales.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 8. Anexos

### Anexo 1.

#### Datos técnicos lámpara (tubo) fluorescente Sylvania T8 32W

**SYLVANIA**

### Fluorescentes T8

Tubo Fluorescente FO32 T8 - SUPER - NW

P01425



Tubo T8 fluorescente, su tamaño facilita el diseño de luminarias compactas, alto rendimiento y eficiencia energética.

#### CARACTERISTICAS

- Excelente reproducción cromática
- Requiere de balasto electrónico
- Base G13
- Bajo costo

#### APLICACIONES

- Iluminación General
- Edificios
- Supermercados
- Oficinas

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

##### CODIGO

P01425

##### NOMBRE DEL PRODUCTO

Tubo Fluorescente FO32 T8 - SUPER - NW

##### TECNOLOGÍA

FLUORESCENTE

##### DESCRIPCIÓN

Tubo T8 de 32W fluorescente, eficiencia de hasta 87lm/W, fácil instalación, reduce costes de mantenimiento, aptos para instalaciones que requieren un alto flujo luminoso.



by **HAVELLS SYLVANIA**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**SYLVANIA**

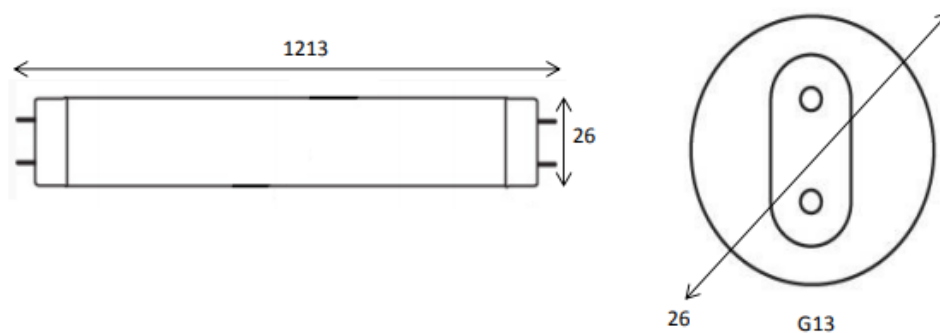
## Fluorescentes T8

Tubo Fluorescente FO32 T8 - SUPER - NW

P01425

DATOS ÓPTICOS	DATOS FÍSICOS	DATOS ELECTRICOS
<b>IRC</b>	<b>COLOR</b>	<b>CONSUMO TOTAL DE POTENCIA (W)</b>
85Ra	Blanco	32W
<b>VIDA ÚTIL</b>	<b>CASQUILLO/BASE</b>	<b>VOLTAJE</b>
20000h	G13	64V
<b>CLASE DE ENERGIA</b>	<b>DIMENSIONES/DIAMETRO (mm)</b>	<b>EFICACIA</b>
B	1213 x 26	87lm/W
<b>FLUJO LUMINOSO (lm)</b>	<b>FORMA DEL BULBO</b>	<b>TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACIÓN</b>
2784lm	Tubular	25°
<b>TEMPERATURA DE COLOR</b>		<b>CORRIENTE (A)</b>
6500K		0.27

### DIMENSIONES



by **HAVELLS SYLVANIA**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Anexo 2. Datos técnicos lámpara (tubo) fluorescente T5 54w Sylvania

**SYLVANIA**

Fluorescentes  
Lineales

Lámparas

T5 FHO LUXLINE

### Características

- Tecnología trifósforo.
- Alto flujo luminoso.
- Excelente IRC.
- Opera con balasto electrónico.
- Larga vida útil.
- Encendido inmediato.



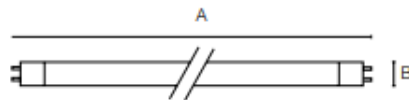
### Aplicaciones

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

### Especificaciones

Código	Descripción Comercial	Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	CCT (K)	Bulbo	Base	Vida Útil (h)
P31642-3	FHO24W T5 3000K	24	2000	3000	T5	G5	24000
P31616-3	FHO24W T5 4000K	24	2000	4000	T5	G5	24000
P31617-3	FHO24W T5 6500K	24	1850	6500	T5	G5	24000
P31611-3	FHO54W T5 3000K	54	5000	3000	T5	G5	24000
P31614-3	FHO54W T5 4000K	54	5000	4000	T5	G5	24000
P31615-3	FHO54W T5 6500K	54	4650	6500	T5	G5	24000

### Dimensiones mm.



Lámpara	A	B
54W	1163.2	16
24W	563.2	16

by **FEILO SYLVANIA**

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

135

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Anexo 3. Datos técnicos lámpara (tubo) LED T8 18w Sylvania



#### LED Toledo

LED TUBE 18WT8 DL 100-277 PC  
P25125



Producto LED en formato tubular para iluminación general, su tecnología y diseño proporciona una mejor iluminación interior. Ahorra hasta el 60% de energía comparado con tubos fluorescentes.

#### CARACTERÍSTICAS

- Diseño de tubo tradicional
- Cuerpo con acabado opalizado
- Tecnología de chip LED SMD y driver integrado en el tubo.

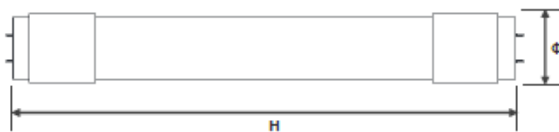
#### APLICACIONES

- Iluminación interior
- Espacios domésticos
- Iluminación general

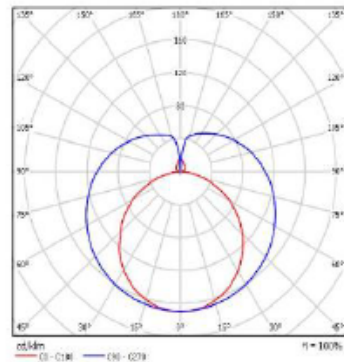


DATOS ÓPTICOS		DATOS FÍSICOS		DATOS ELÉCTRICOS	
Temperatura de color	6500K	Material chasis	Policarbonato	Potencia de entrada	18W
Flujo luminoso	1800 lm	Base	G13	Tensión de operación	100-277V 50/60Hz
Ángulo de apertura	180°	Acabado	Opalizado	Corriente de entrada	0.15A @120V
Tipo de distribución	Directa asimétrica	Dimensiones (Φ x L)	28 x 1213 mm	Factor de potencia	0.9
Reproducción de color (IRC)	80	Temperatura de operación Ta	-10°C ~ 40°C	Atenuable	NO
Vida útil	40.000h L70			Ciclos de conmutación	40000
Eficacia	100 lm/W			Tipo de conexión	L-N en un extremo
				Tipo de socket	No prepuenteado
				Retardo Dimerización	N/A

#### DIMENSIONES



#### FOTOMETRÍA



Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 07/18

Producto Ecológico:  
Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Anexo 4. Datos técnicos lámpara (tubo) LED T5 25w Sylvania



**LED Toledo**  
 LED TUBE 25W T5 DL 100-277V  
 P27608



Producto LED en formato tubular para iluminación general, su tecnología y diseño proporciona una mejor iluminación interior. Ahorra hasta el 60% de energía comparado con tubos fluorescentes.

**CARACTERÍSTICAS**

- Diseño de tubo tradicional
- Tecnología de chip LED SMD y driver integrado en el tubo.
- No requiere balasto

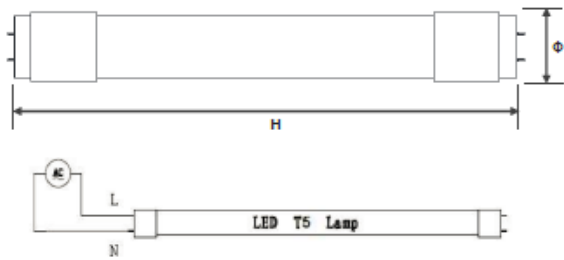
**APLICACIONES**

- Iluminación interior
- Espacios domésticos
- Iluminación general

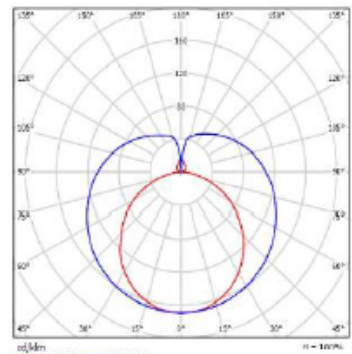


DATOS ÓPTICOS *		DATOS FÍSICOS *		DATOS ELÉCTRICOS *	
Temperatura de color	6500K	Material chasis	Vitrio+PET	Potencia de entrada	25W
Flujo luminoso	3400 lm	Base	G5	Tensión de operación	120-277V 50/60Hz
Ángulo de apertura	160°	Acabado	Opalizado	Corriente de entrada	0.21A @120V
Tipo de distribución	Directa simétrica	Dimensiones (Φ x H)	21 x 1163 mm	Factor de potencia	>0.9
Reproducción de color (IRC)	>80	Temperatura de operación Ta	-20°C ~ 45°C	Ciclos de conmutación	40000
Vida útil	50.000h L70			Tipo de socket	No prepuenteado
Eficacia	136 lm/W				

**DIMENSIONES**



**FOTOMETRÍA**



\* Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 09/17

Producto Ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA





 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>					Código	FDE 089
						Versión	03
						Fecha	2015-01-22

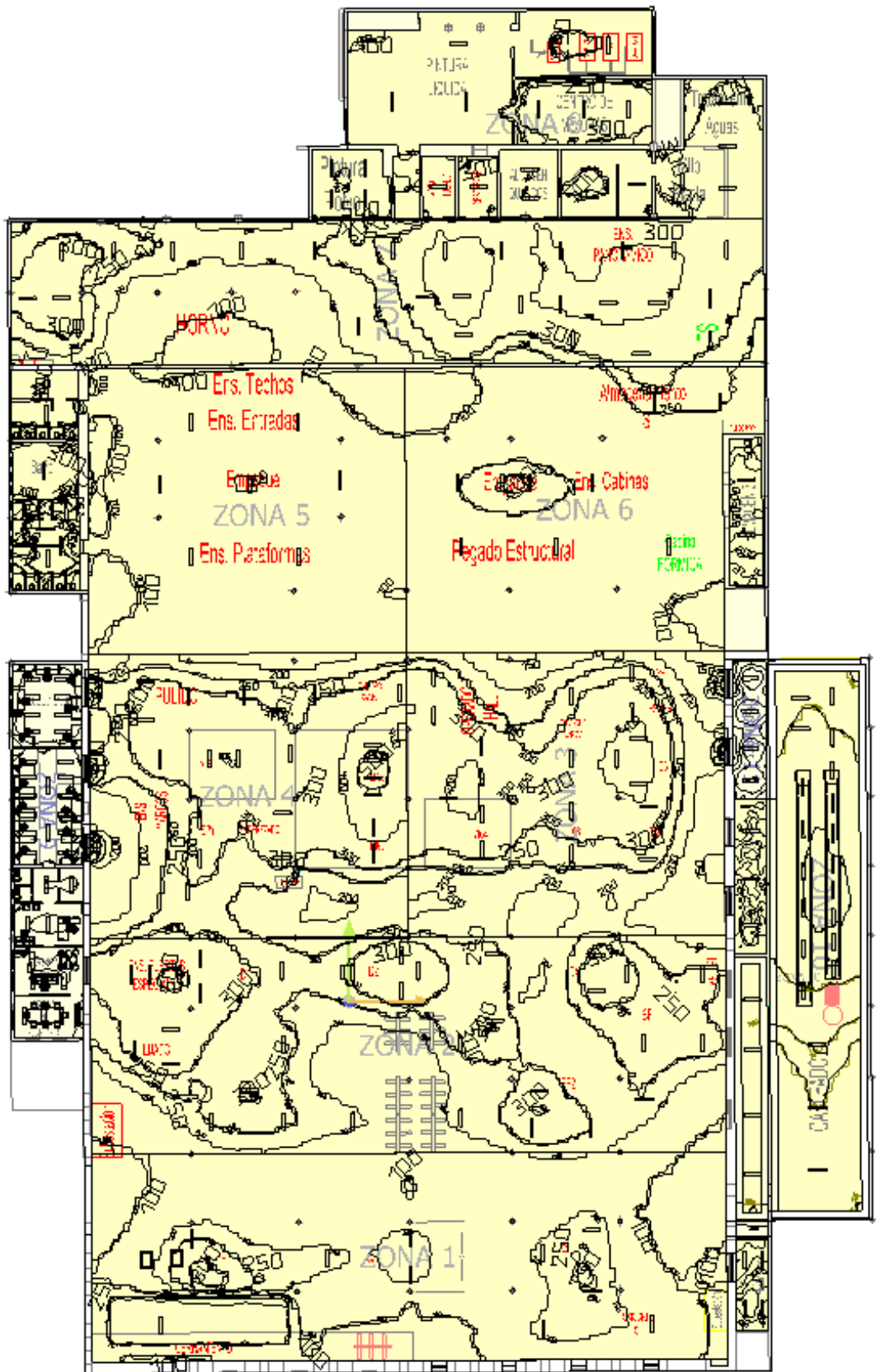
	ZONA 7						ZONA 8						ZONA 9						ZONA 10						ZONA 11					
Cantidad total de luminarias	28						22						34						32						4					
Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
12:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6:00 a. m.	0	16	14	10	0	0	0	8	10	14	0	0	0	2	2	12	0	0	0	21	0	14	0	0	0	0	0	0	0	
7:00 a. m.	10	16	14	6	10	9	9	12	10	8	9	8	2	29	25	30	2	2	19	21	19	18	19	19	4	4	4	4	4	
8:00 a. m.	10	6	2	8	10	6	9	7	12	10	9	13	28	23	33	29	28	29	19	21	19	23	19	19	4	4	4	4	4	
9:00 a. m.	8	6	0	8	8	6	10	6	4	9	10	6	26	30	29	29	26	33	19	13	19	28	19	19	4	4	4	4	4	
10:00 a. m.	6	6	2	5	6	6	4	7	7	9	4	9	29	29	29	29	29	33	13	21	21	28	13	13	4	4	4	4	4	
11:00 a. m.	6	0	2	5	6	6	8	8	12	8	8	9	26	29	30	29	26	32	19	21	21	25	19	19	4	4	4	4	4	
12:00 p. m.	6	0	0	2	6	0	9	8	8	9	9	9	26	25	30	28	26	32	19	21	20	27	19	19	4	4	4	4	4	
1:00 p. m.	0	2	0	2	0	0	8	10	8	8	8	5	23	30	33	29	23	28	19	25	21	23	19	19	4	4	4	4	4	
2:00 p. m.	6	2	2	2	6	0	9	12	6	13	9	8	26	30	33	34	26	28	21	26	21	23	21	21	4	4	4	4	4	
3:00 p. m.	0	2	2	7	0	0	2	11	6	9	2	8	27	30	29	26	27	33	22	21	24	25	22	22	4	4	4	4	4	
4:00 p. m.	0	2	2	5	0	0	2	9	6	9	2	8	25	25	29	26	25	30	19	27	24	25	19	19	4	4	4	4	4	
5:00 p. m.	0	28	28	10	0	0	2	0	6	9	2	8	25	0	0	26	25	30	19	30	30	25	19	19	4	4	4	4	4	
6:00 p. m.	9	28	28	10	9	9	5	0	0	5	5	5	25	0	0	26	25	30	19	30	30	19	19	19	4	4	4	4	4	
7:00 p. m.	9	28	28	5	9	9	5	0	0	5	5	5	12	0	0	19	12	12	19	30	30	19	19	19	4	4	4	4	4	
8:00 p. m.	9	28	28	5	9	9	5	0	0	5	5	5	12	0	0	0	12	12	19	30	30	19	19	19	4	4	4	4	4	
9:00 p. m.	9	0	0	5	9	9	5	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	19	0	0	19	19	19	19	4	4	4	4	4	
10:00 p. m.	9	0	0	5	9	9	5	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	19	0	0	19	19	19	19	4	4	4	4	4	
11:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>		Código	FDE 089
			Versión	03
			Fecha	2015-01-22

ZONA	ZONA 7							ZONA 8							ZONA 9							ZONA 10							ZONA 11						
Tipo luminaria	2 x 54w fluorescente							2 x 54w fluorescente							2 x 32w fluorescente							2 x 54w fluorescente							2 x 32w fluorescente						
	Factor de utilización							Factor de utilización							Factor de utilización							Factor de utilización							Factor de utilización						
Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Prom	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Prom	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Prom	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Prom	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Prom
12:00 a. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
1:00 a. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
2:00 a. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
3:00 a. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
4:00 a. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
5:00 a. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
6:00 a. m.	0,00	0,57	0,50	0,36	0,00	0,00	0,24	0,00	0,36	0,45	0,64	0,00	0,00	0,24	0,00	0,06	0,06	0,35	0,00	0,00	0,08	0,00	0,66	0,00	0,44	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00				
7:00 a. m.	0,36	0,57	0,50	0,21	0,36	0,32	0,39	0,41	0,55	0,45	0,36	0,41	0,36	0,42	0,06	0,85	0,74	0,88	0,06	0,06	0,44	0,59	0,66	0,59	0,56	0,59	0,59	0,60	1,00	1,00	1,00				
8:00 a. m.	0,36	0,21	0,07	0,29	0,36	0,21	0,25	0,41	0,32	0,55	0,45	0,41	0,59	0,45	0,82	0,68	0,97	0,85	0,82	0,85	0,83	0,59	0,66	0,59	0,72	0,59	0,59	0,63	1,00	1,00	1,00				
9:00 a. m.	0,29	0,21	0,00	0,29	0,29	0,21	0,21	0,45	0,27	0,18	0,41	0,45	0,27	0,34	0,76	0,88	0,85	0,85	0,76	0,97	0,85	0,59	0,41	0,59	0,88	0,59	0,59	0,61	1,00	1,00	1,00				
10:00 a. m.	0,21	0,21	0,07	0,18	0,21	0,21	0,18	0,18	0,32	0,32	0,41	0,18	0,41	0,30	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,97	0,87	0,41	0,66	0,66	0,88	0,41	0,41	0,57	1,00	1,00	1,00				
11:00 a. m.	0,21	0,00	0,07	0,18	0,21	0,21	0,15	0,36	0,36	0,55	0,36	0,36	0,41	0,40	0,76	0,85	0,88	0,85	0,76	0,94	0,84	0,59	0,66	0,66	0,78	0,59	0,59	0,65	1,00	1,00	1,00				
12:00 p. m.	0,21	0,00	0,00	0,07	0,21	0,00	0,08	0,41	0,36	0,36	0,41	0,41	0,41	0,39	0,76	0,74	0,88	0,82	0,76	0,94	0,82	0,59	0,66	0,63	0,84	0,59	0,59	0,65	1,00	1,00	1,00				
1:00 p. m.	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02	0,36	0,45	0,36	0,36	0,36	0,23	0,36	0,68	0,88	0,97	0,85	0,68	0,82	0,81	0,59	0,78	0,66	0,72	0,59	0,59	0,66	1,00	1,00	1,00				
2:00 p. m.	0,21	0,07	0,07	0,07	0,21	0,00	0,11	0,41	0,55	0,27	0,59	0,41	0,36	0,43	0,76	0,88	0,97	1,00	0,76	0,82	0,87	0,66	0,81	0,66	0,72	0,66	0,66	0,69	1,00	1,00	1,00				
3:00 p. m.	0,00	0,07	0,07	0,25	0,00	0,00	0,07	0,09	0,50	0,27	0,41	0,09	0,36	0,29	0,79	0,88	0,85	0,76	0,79	0,97	0,84	0,69	0,66	0,75	0,78	0,69	0,69	0,71	1,00	1,00	1,00				
4:00 p. m.	0,00	0,07	0,07	0,18	0,00	0,00	0,05	0,09	0,41	0,27	0,41	0,09	0,36	0,27	0,74	0,74	0,85	0,76	0,74	0,88	0,78	0,59	0,84	0,75	0,78	0,59	0,59	0,69	1,00	1,00	1,00				
5:00 p. m.	0,00	1,00	1,00	0,36	0,00	0,00	0,39	0,09	0,00	0,27	0,41	0,09	0,36	0,20	0,74	0,00	0,00	0,76	0,74	0,88	0,52	0,59	0,94	0,94	0,78	0,59	0,59	0,74	1,00	1,00	1,00				
6:00 p. m.	0,32	1,00	1,00	0,36	0,32	0,32	0,55	0,23	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23	0,15	0,74	0,00	0,00	0,76	0,74	0,88	0,52	0,59	0,94	0,94	0,59	0,59	0,59	0,71	1,00	1,00	1,00				
7:00 p. m.	0,32	1,00	1,00	0,18	0,32	0,32	0,52	0,23	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23	0,15	0,35	0,00	0,00	0,56	0,35	0,35	0,27	0,59	0,94	0,94	0,59	0,59	0,59	0,71	1,00	1,00	1,00				
8:00 p. m.	0,32	1,00	1,00	0,18	0,32	0,32	0,52	0,23	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23	0,15	0,35	0,00	0,00	0,00	0,35	0,35	0,18	0,59	0,94	0,94	0,59	0,59	0,59	0,71	1,00	1,00	1,00				
9:00 p. m.	0,32	0,00	0,00	0,18	0,32	0,32	0,19	0,23	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,59	0,59	0,59	0,40	1,00	1,00	1,00			
10:00 p. m.	0,32	0,00	0,00	0,18	0,32	0,32	0,19	0,23	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,59	0,59	0,59	0,40	1,00	1,00	1,00				
11:00 p. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
12:00 a. m.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				





 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES

Wilton Grizales

Andres R. Patiño.

FIRMA ASESOR

*[Handwritten Signature]*  
Entrega informe final  
10/10/2014

FIRMA ASESOR

Juan Diego Betancur

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON  
 MODIFICACIONES\_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_