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

# **Análisis del consumo energético y propuesta de ahorro en el Centro Comercial Cityplaza**

Juan Fernando Toro Muñoz

Fabián de Jesús Calle Oquendo  
Ingeniería electromecánica

Director del trabajo de grado

Carlos Mario Londoño Parra

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Fecha**

**Julio, 2019**

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

## RESUMEN

---

El objetivo del trabajo era realizar un análisis energético en el centro comercial Cityplaza, que nos permitiera visualizar los aspectos en los cuales se podría realizar una propuesta para el ahorro de energía eléctrica, y así reducir su alto costo y optimizar los recursos, de tal manera que los usuarios vean mejorada la calidad de los servicios y los propietarios tengan una disminución significativa en los costos de operación.

Para realizar este análisis se midió de la corriente consumida por la iluminación en los diferentes pisos, además se tuvo en cuenta el flujo luminoso emitido por el tipo de iluminación existente que es de tipo fluorescente. Lo anterior nos llevó a la conclusión que un cambio de iluminación por luminarias tipo led permitiría ahorrar un promedio de un 50% de corriente, y por ende bajaría ostensiblemente el costo de la energía eléctrica cumpliendo con los niveles de lx exigidos por la norma colombiana (Energía, 2010).

En materia de escaleras eléctricas se realizaron pruebas de consumo de corriente en vacío y con carga, y de esta manera poder generar una propuesta que se enfoque en la optimización del sistema y disminución del consumo, manteniendo la calidad del servicio. Se investigaron los diferentes elementos de tipo electrónico y eléctrico que se pueden utilizar en la automatización de este tipo de escaleras, escogiendo los más adecuados para intervenir el sistema de manera eficiente. Lo que se propone es incluir sistemas de detección de personal que activen la escalera eléctrica, esto permite identificar cuando la escalera no se esté utilizando para disminuir su velocidad permitiendo un ahorro no solo de energía eléctrica sino también de costos de mantenimiento, debido a la reducción de ciclos de funcionamiento de las diferentes piezas mecánicas.

En las torres de enfriamiento se realizaron pruebas de consumo de corriente y valoraciones de ciclos de funcionamiento para determinar el porcentaje de utilización a diferentes horas del día, lo cual llevó a la conclusión que la mejor forma de optimizar el sistema es automatizar el funcionamiento de la bomba principal, de tal manera que esta trabaje en el porcentaje de potencia requerida según las necesidades de los usuarios que lo estén utilizando, ya que el sistema trabaja al 100 % aun cuando solo un 20 % de los usuarios estén utilizando el servicio. Además de lo anterior se encontró una oportunidad de mejora en el funcionamiento de los ventiladores de torre, ya que estos mantienen la temperatura del agua de los equipos a un nivel más bajo de lo requerido, esto se debe a que son dos ventiladores y solo uno posee variador, lo que implica que el otro entra en funcionamiento al 100% de su capacidad sin tener en cuenta las necesidades del sistema.

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

*Palabras clave:* iluminación, eficiente, escaleras eléctricas, eficiencia energética.

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

## RECONOCIMIENTOS

---

Extendemos nuestro especial agradecimiento a todos los profesores que con su dedicación y compromiso en sus diferentes materias contribuyeron a nuestra formación profesional, y hoy nos permiten estar llegando a cumplir nuestros sueños. También agradecemos a nuestras familias que fueron cómplices de este logro, ya que con su paciencia, apoyo y entendimiento aportaron a cada uno de los peldaños de este camino que nos ha llevado hasta donde hoy nos encontramos, gracias a todos ellos de todo corazón.

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

# ACRÓNIMOS

---

RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

RETILAP Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

Lx: Luxes.

Lm: Lúmen

UNI-T: Uni-Trend Limited.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

W: Vatios.

Kw: Kilo vatios.

CRI: Índice de reproducción cromática.

CCT: Temperatura del color.

URG: Unified Glare Rating.

RMF: Factor de mantenimiento de espacio.

LMF: Factor de mantenimiento de luminarias.

LLMF: Factor de mantenimiento de flujo luminoso.

LSF: Factor de mantenimiento de vida útil de la lampara.

FM: Factor de degradación.

h: Hora.

2D: Dos dimensiones.

3D: Tres dimensiones.

Min: Mínimo.

Max: Máximo.

m: Metro.

cd: Candela.

seg: Segundo.

Amp h: Amperio hora.

f: Fase.

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

V: Voltios

Hz: Hertz.

A.h: Es la cantidad promediada de amperios en un periodo de una hora de trabajo.

A.día: Suma de los promedios de amperios horas consumidos por un equipo en un día de trabajo.

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

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
RECONOCIMIENTOS.....	4
ACRÓNIMOS .....	5
TABLA DE CONTENIDO.....	7
GRÁFICAS .....	8
TABLAS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos específicos: .....	10
1. MARCO TEÓRICO.....	11
2. METODOLOGÍA.....	13
2.1. Iluminación. ....	13
2.2. Escaleras eléctricas. ....	14
2.3. Torres de enfriamiento.....	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
3.1. Sistema de iluminación.....	21
3.2. Transporte vertical.....	34
3.3. Torres de enfriamiento.....	42
4. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	47
RECOMENDACIONES.....	48
TRABAJO FUTURO.....	49
5. REFERENCIAS .....	50
6. APÉNDICE .....	51

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

## GRÁFICAS

Ilustración 1 Prueba de Corriente VS Frecuencia. Fuente: Los autores.....	17
Ilustración 2 Gráfica de prueba variador. Fuente, los autores. ....	18
Ilustración 3 lectura de variador YASKAWA. Fuente, los autores. ....	20
Ilustración 4 Iluminación actual piso 1. Fuente: Maxileléctricos S.A. ....	21
Ilustración 5 Iluminación actual piso 2. Fuente: Maxileléctricos S.A. ....	22
Ilustración 6 Iluminación actual piso 3. Fuente: Maxileléctricos S.A. ....	22
Ilustración 7 Iluminación actual sótanos. Fuente: Maxileléctricos S.A. ....	23
Ilustración 8 Propuesta de iluminación piso 1. Fuente, los autores. ....	26
Ilustración 9 Propuesta de iluminación piso 2. Fuente, los autores. ....	26
Ilustración 10 Propuesta de iluminación piso 3. Fuente, los autores. ....	27
Ilustración 11 Propuesta de iluminación Sótanos. Fuente, los autores.....	27
Ilustración 12 Datos de Iluminación piso 1. Fuente, los autores. ....	29
Ilustración 13 Datos de Iluminación piso 2. Fuente, los autores. ....	29
Ilustración 14 Datos de Iluminación piso 3. Fuente, los autores. ....	30
Ilustración 15 Datos de Iluminación sótanos. Fuente, los autores. ....	30
Ilustración 16 consumos de electricidad en iluminación. Fuente, los autores. ....	31
Ilustración 17 Costos de electricidad utilizada para iluminación. Fuente, los autores.....	32
Ilustración 18 Costo del proyecto. Fuente, los autores. ....	33
Ilustración 19 Consumo de escalera pequeña vs Hz. Fuente, los autores. ....	35
Ilustración 20 Consumo de escalera grande vs Hz. Fuente, los autores. ....	36
Ilustración 21 Costo aproximado actual de las escaleras al mes. Fuente, los autores. ....	38
Ilustración 22 Ahorro total en pesos por mes. Fuente, los autores.....	38
Ilustración 23 FP-X entrada de sensor. Fuente: manual programable controller FP-X User`s Manual .....	39
Ilustración 24 Ajuste por defecto para funcionamiento utilizando el panel SDP. Fuente: manual SIEMENS micromaster 440 1,12 KW- 240 KW (Siemens, 2010).....	40
Ilustración 25 Panel SDP. Fuente: manual SIEMENS micromaster 440 1,12 KW- 240 KW (Siemens, 2010) .....	40
Ilustración 26 sensor infrarrojo emisor -receptor.....	41
Ilustración 27 tablero de control torre de enfriamiento. Fuente, los autores.....	43
Ilustración 28 Torre de enfriamiento. Fuente: LRC-H Y LCR-SAS manual de torres de enfriamiento (Institución para la Diversificación y Ahorro de la Energía , 2006) .....	44
Ilustración 29 Programador Schneider CCT15720. Fuente: (Schneider Electric Industries SAS, 2007) .....	45
Ilustración 30 Uso de aire acondicionado. Fuente, los autores. ....	45
Ilustración 31 Horas de consumo por local. Fuente, los autores.....	46



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

## TABLAS

Tabla 1 Datos de escaleras.....	15
Tabla 2 Datos Prueba variador.....	17
Tabla 3 Iluminación actual piso 1.....	23
Tabla 4 Iluminación actual piso 2.....	24
Tabla 5 Iluminación actual piso 3.....	24
Tabla 6 Iluminación actual piso 1 Sótanos.....	25
Tabla 7 Propuesta de iluminación piso 1.....	27
Tabla 8 Propuesta de iluminación piso 2.....	27
Tabla 9 Propuesta de iluminación piso 3.....	28
Tabla 10 Propuesta de iluminación piso Sótanos.....	28
Tabla 11 Costo del proyecto de iluminación.....	32
Tabla 12 Ahorro de escaleras sin usuarios.....	36
Tabla 13 Ahorro por día de cada escalera.....	37
Tabla 14 Ahorro por mes (Por todas las escaleras).....	37
Tabla 15 Ahorro total en pesos (Todas las escaleras).....	37
Tabla 16 SENSOR INFRAROJO Marca: Sommer Modelo 434868.....	40
Tabla 17 Costo propuesta de automatización escaleras eléctricas.....	41

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

# INTRODUCCIÓN

---

El alto consumo eléctrico es uno de los problemas a los que se ven enfrentados actualmente las diferentes ramas del comercio, dándole un lugar muy importante dentro de los gastos fijos de las diferentes actividades comerciales, lo cual derivara en el éxito o fracaso de éstas. Por esta razón la oportunidad de mejora abordada fue el alto costo de la energía eléctrica en el centro comercial Cityplaza, y aprovechando esta oportunidad se plantearon estrategias y cambio que ayuden a la reducción de estos costos, mejorando la calidad de los servicios que dependen del consumo de energía eléctrica.

En este trabajo se han propuesto mejoras para optimizar el consumo de electricidad en los sistemas de: iluminación, torres de enfriamiento y escaleras eléctricas, que permitirán al centro comercial visualizar una oportunidad de reducir los costos de operación de una manera significativa.

## **Objetivo General**

Realizar un análisis del consumo eléctrico en el centro comercial Cityplaza, con el fin de presentar propuestas a la gerencia del centro comercial que se puedan implementar y de esta manera reducir el costo en el consumo de energía eléctrica.

## **Objetivos específicos:**

- Evaluar el consumo eléctrico de escaleras eléctricas, sistema de enfriamiento del aire acondicionado y sistema de iluminación de áreas comunes del centro comercial, para determinar fuentes potenciales de ahorro eléctrico.
- Rediseñar el sistema de iluminación de las áreas comunes del centro comercial, con fundamento en la reglamentación vigente y cumpliendo los niveles mínimos de iluminación para este escenario.
- Determinar la instrumentación requerida para la implementación de un control automático para el accionamiento de las escaleras eléctricas del centro comercial, y del sistema de enfriamiento del aire acondicionado que permita reducir el consumo eléctrico en función de la demanda de usuarios.

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

# 1. MARCO TEÓRICO

---

Para poder hablar de consumo eléctrico en edificaciones comerciales, explícitamente en centros comerciales, primero se debe comprender que todo lo que se ve reflejado en las comodidades que ofrece un centro comercial, de una u otra manera está ligado con el consumo de energía eléctrica como lo es por ejemplo: la iluminación, aires acondicionados, escaleras eléctricas y ascensores; sin embargo, esto no quiere decir que no se pueda implementar alternativas de ahorro que mantengan la calidad de los servicios prestados o incluso se obtenga un mejor servicio, y al mismo tiempo se alcance un ahorro significativo en el consumo de energía eléctrica. Para poder desarrollar este trabajo de una manera adecuada se utilizó la siguiente metodología: “Determinación de sistemas a intervenir, identificación de oportunidades de mejora, determinar rentabilidad y presentación de las propuestas que son viables” (E. O. Hernández, 2014).

En el caso de la iluminación se encontró que los locales comerciales deben cumplir con una normativa dependiendo de la legislación propia de cada país, en Colombia existen tres normas relativas a este tema, las cuales son: RETIE, RETILAP y la NTC 2050. En esta documentación se encontró que los valores de luxes que se deben presentar en un centro comercial son: mínimo 500 lx, máximo 1000 lx en lo que respecta al centro comercial y de mínimo 50 lx a máximo 150 lx para parqueaderos (Energía, 2010). Para determinar las exigencias con respecto a cableado, distancias, caídas de tensión, materiales utilizados y exigencias de cada uno de los lugares donde están instaladas las diferentes luminarias se tiene la información consignada en el REITE y la NTC 2050. Durante el desarrollo del trabajo, en lo que corresponde a iluminación se empleó el programa DIALUX, el cual entrega simulaciones de los resultados que se pueden obtener utilizando las diferentes luminarias disponibles en el mercado. Con este diseño se determinó qué tipo de luminarias son las más convenientes para el centro comercial. Lo anterior basado en: costos de la inversión, consumo total, ahorro en comparación con las luminarias actuales y el tiempo que tardara el centro comercial en recuperar la inversión realizada en el nuevo sistema de iluminación.

Con respecto a los sistemas de transporte vertical, se evaluó el tiempo total de trabajo que tienen las diferentes escaleras eléctricas con las que cuenta el centro comercial, y de esta manera se cuantificó el tiempo de trabajo útil y trabajo en vacío. Con los datos anteriores se evaluó la conveniencia de instalar sensores para que este sistema funcione cuando en realidad se requiera y no en todo momento como es el caso actual. Para la implementación

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

de este cambio se determinó que estos componentes tienen un voltaje de trabajo bajo, por lo cual se pueden instalar de dos maneras:

1. **Variadores de frecuencia para control ON OFF o control de velocidad.** Con la instalación de variadores de velocidad, se puede adicionar un sensor en las escaleras eléctricas que al momento de detectar la presencia de usuarios de la señal de arranque para que el sistema inicie su funcionamiento. (Siemens, 2010). También se tiene la opción de mantener los motores operando a diferentes tipos de velocidades dependiendo de cada una de las necesidades que se presente en el sistema, lo cual se puede lograr por medio del control de la frecuencia de entrada que se tiene en el motor (Ponce, 2016).
  
2. **Instalación al circuito de potencia.** Para realizar esta instalación se debe contar con un contactor que no es otra cosa que un interruptor de alto amperaje que permite conectar y desconectar el motor de las escaleras cuando se detecte la presencia de una persona. Para el manejo del tiempo que se mantendrá la escalera funcionando, debe ser instalado en la bobina de control del contactor con un temporizador que será el encargado de energizar o desenergizar la bobina de control del contactor. Cabe anotar que para poder lograr esto debe existir un circuito que reciba la señal del sensor y posibilite dar la señal al temporizador. La instalación en el circuito de potencia es una opción viable, siempre y cuando no sea posible instalar este sistema directamente al variador.

Con respecto a las torres de enfriamiento, se estudió la conveniencia de instalar controles diferenciales de presión que entreguen una señal para modificar la salida de los variadores de velocidad que les permita a las bombas regular el caudal que entregan dependiendo de las exigencias que se presenten en el sistema, con relación a las necesidades de los usuarios, esto se logra disminuyendo la potencia de entrada lo cual se va a ver reflejado en el consumo. Lo anterior además de disminuir el consumo de energía, prolongará la vida de los equipos ya que sus componentes mecánicos no tendrán tantos ciclos de trabajo como los que se tiene en la actualidad (Luis Fernando Mantilla Peñalba, 2003).

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

## 2. METODOLOGÍA

---

En este proyecto se intervinieron tres tópicos del consumo eléctrico del Centro comercial Cityplaza. A continuación, abordaremos cada uno y se presentará la metodología utilizada:

### 2.1. Iluminación.

En el tema de iluminación se realizaron mediciones de los consumos de corriente por pisos (3 pisos de locales comerciales y 3 pisos de parqueaderos). Para determinar el consumo que se tienen en lo que corresponde a la iluminación, se procedió con el conteo de las lámparas por cada piso y se agruparon según su potencia, de esta manera se pudo calcular el consumo real de todas las luminarias. Luego de realizar el conteo y agrupación de las luminarias se realizaron mediciones de los niveles de luminosidad en un ambiente sin ningún tipo de luz natural (Estos valores se tomaron las 5:00 am) en todo el centro comercial, con el fin de conocer el valor real de los luxes que se tienen actualmente en este lugar y compararlos con los valores establecidos por el RETILAP que se encuentran entre 500 y 1000 lx (Energía, 2010) para un lugar como estos. Las medidas de iluminación se realizaron al frente de cada uno de los locales comerciales con un luxómetro marca UNI-T, tomando los valores a nivel de piso con todas las luminarias encendidas. Los resultados de estas medidas dieron un promedio de iluminación de 250 lx, y se evidencio que algunas áreas de este centro comercial como es el caso de los pasillos de ingreso a ascensores mostraban medidas de 75 lx, por lo cual podemos determinar que los valores de iluminación con los que se cuenta actualmente están muy por debajo de los mínimos establecidos por el RETILAP para este tipo de instalaciones. Con el fin de evaluar todas las alternativas posibles para mejorar el sistema de iluminación se recolectaron datos como son:

- Alturas de piso a techo: 4.32 m.
- Tipo de piso: tipo baldosa.
- Pintura en paredes: blanca.

Luego de recoger toda la información necesaria con respecto a la iluminación, y teniendo la certeza que se debía intervenir este sistema debido a sus bajos valores de luxes, alto consumo eléctrico, bajo tiempo de vida (Aproximadamente 5 años según datos de fabricante con un uso de 12 horas diarias) y variedad de luminarias lo cual hace que se deba

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

tener una gran variedad de luminarias disponibles para poder garantizar una respuesta oportuna ante el eventual fallo de alguna de estas. Con los anteriores datos se alimentó el software DIALUX (DIAL, 2018) el cual es una herramienta que nos permite calcular los valores de iluminación que se pueden obtener con diferentes tipos de lámparas sin la necesidad de realizar pruebas en campo.

Al momento de evaluar las alternativas que se tienen para mejorar las condiciones de iluminación y consumo eléctrico, se contempló la posibilidad de realizar cambios uno a uno con lámparas tipo tubo T5, T6 y T8 con tecnología LED, con el fin de aprovechar las mismas cargas que se tienen actualmente y de esta manera no tener que modificar la distribución actual, pero no encontramos un tipo de luminaria que entregue como mínimo el mismo flujo luminoso que las actuales, las mejores alternativas que se encontraron en el mercado fueron los tubos LED de 18W que entregan un flujo luminoso de 1800 lm que es muy inferior de las 4463 lm que entregan las lámparas actuales. Por lo anterior esta alternativa fue rechazada ya que no se puede garantizar un ahorro de energía y al mismo tiempo cumplir de los luxes exigidos por norma.

La segunda alternativa que se evaluó fue reemplazar todas las luminarias actuales por una luminaria tipo LED Philips Lighting BY471X 1xGRN170S/840 MB GC 1xGRN170S/840, la cual tiene un flujo luminoso suficiente para cumplir con los estándares mínimos exigidos por el RETILAP, lo cual se pudo constatar por medio de simulaciones realizadas en el software DIALUX, estas lámparas pueden ser reguladas de manera remota utilizando una red WIFI, pero esta alternativa fue desechada al igual que las simulaciones realizadas ya que este tipo de lámparas no son comerciales en nuestro país, y contemplar la idea de realizar una importación de estas, únicamente para ser instaladas en el centro comercial no era algo viable debido a los costos adicionales y a la falta de soporte técnico que se tienen.

Por último, utilizamos paneles LED HIGH BAY HBL2 110W CW (SYLVANIA, 2019) de alta eficiencia que suministran el flujo luminoso que se requiere para las necesidades del centro comercial y lámparas herméticas tipo led LED HERMETICA 2X18W T8 PC (SYLVANIA, 2019) para los parqueaderos (Estos productos si son comerciales en el país).

## **2.2. Escaleras eléctricas.**

Con respecto al tema de escaleras eléctricas se tomaron medidas del tiempo de uso efectivo de éstas en los diferentes días de la semana para determinar el porcentaje de ocupación

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

que se tiene, este trabajo fue complementado con consultas realizadas al personal administrativo del centro comercial para poder evaluar todos los escenarios posibles.

También se realizaron pruebas de funcionamiento con carga y sin carga en las escaleras, permitiendo visualizar el consumo de corriente de los motores y circuitos eléctricos en vacío y cuando están siendo utilizadas. De esta manera se logró calcular el consumo de las escaleras por kilogramo transportado y se determinó el consumo aproximado cuando están trabajando con la máxima ocupación posible. Los datos recolectados de cada tipo de escaleras presentes en el centro comerciales (Grandes y pequeñas) fueron:

*Tabla 1 Datos de escaleras.*

Escaleras Pequeñas			
Datos			
Descripción	Valor	Unidades	Notas
Motor	13	HP	3 f 220V
Tiempo de recorrido	20	seg	
Escalones	20	Unidades	
Arranque	65	A	Por un tiempo de 1 seg.
Consumo real al arranque	1,08	A.h	Este consumo fue medido en campo.
Consumo en vacío	14,7	A.h	
Consumo con 80 Kg	15,3	A.h	
Consumo con 77 Kg	15,2	A.h	
Consumo por kilogramo	0,0075	A.h	
Peso Máximo que puede cargar	1200	Kg	
Consumo con full carga	23,7	A.h	
Promedio de consumo	19,2	A.h	
Tiempo en los que la escalera trabaja con carga durante el día	5	h	
Tiempo en los que la escalera trabaja en vacío durante el día	6	h	
Consumo de la escalera con carga por día	115,2	A	
Consumo de la escalera en vacío por día	73,5	A	
Total, de consumo diario.	188,7	A	
Escalera Grande			
Descripción	Valor	Unidades	Notas
Motor	18	HP	3 f 220V

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

Tiempo de recorrido	25	seg	
Escalones	29	Un	
Arranque	74,7	A	Por un tiempo de 1 seg
Consumo real al arranque	1,25	A.h	
Consumo en vacío	20,9	A.h	
Consumo con 80 Kg	21,1	A.h	
Consumo con 77 Kg	15,2	A.h	
Consumo por kilogramo	0,0025	A.h	
Peso Máximo que puede cargar	2000	Kg	
Consumo con full carga	25,9	A.h	
Tiempo en los que la escalera trabaja en vacío durante el día	6	h	
Tiempo en los que la escalera trabaja con carga durante el día	5	h	
Promedio de consumo	23,4	A	
Consumo de la escalera en vacío durante el día	125,4	A.día	
Consumo de la escalera con carga durante el día	117	A.día	
Total, de consumo por día	242,4	A.día	

Para determinar el comportamiento de la corriente cuando se varía la frecuencia en los motores de las escaleras eléctricas, se requería instalar un variador de velocidad en el sistema y tomar medidas de la corriente a diferentes velocidades del motor, pero esto no fue posible debido a la complejidad de la operación del centro comercial, ya que esta acción debía hacerse en tiempo real. Para poder obtener los datos que se buscaban, se realizaron pruebas con un motor similar al que se encuentra instalados en el sistema de escaleras, el cual ya tenía instalado un variador de velocidad que nos permitió observar el comportamiento de la corriente a diferentes frecuencias. Gracias a los datos recolectados se observó el comportamiento de la corriente vs la frecuencia, y se pudo obtener modelar el sistema, obteniendo una ecuación que describe el consumo en el sistema de escaleras del centro comercial sin necesidad de intervenirlo, esto se puede observar en las ilustraciones 1 y 2.

Los datos obtenidos fueron:





*Ilustración 1 Prueba de Corriente VS Frecuencia. Fuente: Los autores.*

*Tabla 2 Datos Prueba variador.*

Consumo (A)	HZ
50	32,2
47,2	30
42,7	25,8
40	23,4
36,4	20,6
32,9	18,6
29,3	16,6
24,8	13,4
15	6,31
0	0

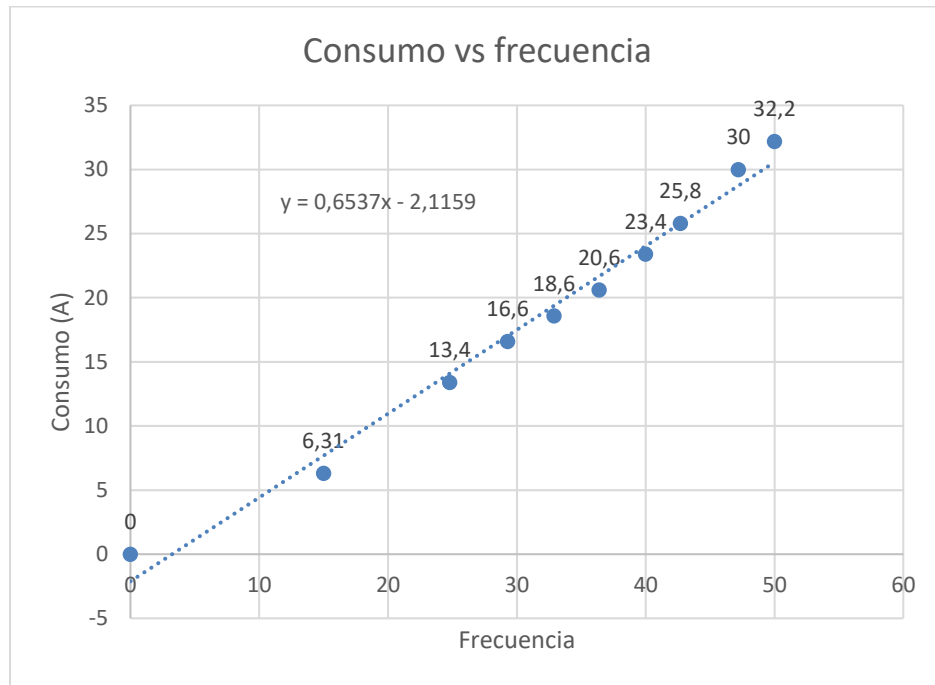


Ilustración 2 Gráfica de prueba variador. Fuente, los autores.

Considerando que el comportamiento que tendremos en nuestros motores será similar al comportamiento mostrado en las pruebas de campo, ya que el motor utilizado para estas pruebas también es un motor jaula de ardilla de la misma cantidad de polos (6), conectado de la misma manera (Conexión estrella trifásico a 220V) y teniendo en cuenta que lo único que varía entre estos dos motores es su potencia, podemos representar el comportamiento del consumo de corriente con respecto a la frecuencia suministrada por medio de una ecuación lineal, teniendo en cuenta únicamente dos de los valores que se pueden tomar en los motores de las escaleras eléctricas, y estos valores son apagados y a máxima frecuencia.

Con los datos recolectados se evaluaron dos alternativas que tomaron fuerza al momento de proponer los cambios necesarios para reducir los costos de operación del sistema de transporte vertical sin que se viera afectada la calidad del servicio. Una de estas alternativas consistió en detener completamente las escaleras en los tiempos que se encontraban trabajando sin ocupación, pero al momento de evaluar los consumos de corriente se evidenció que al poner en marcha de los motores se presentaba un pico transitorio de 65A para las escaleras pequeñas, y de 74.7A para las escaleras grandes aproximadamente por un periodo de 1 segundo. Con las condiciones planteadas de alto consumo de corriente al momento de puesta en marcha de las escaleras y comparándolas con el ahorro presupuestado por tener este sistema apagado (consumo de la escalera en vacío durante el día, Tabla 1), se pudo determinar que esta propuesta quedaría limitada a un máximo de

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

100 ciclos de puesta en marcha para las escaleras grandes y 68 para las escaleras pequeñas, si por algún motivo estos ciclos se superaban el sistema consumiría más corriente de lo normal, por lo cual esta propuesta fue descartada, ya que la cantidad de veces que las escaleras pueden tener el ciclo de puesta en marcha y detenerse completamente es muy bajo para las necesidades que se tienen en un centro comercial, y debido a alto consumo de corriente que demandan los motores para salir de la inercia el consumo de corriente se incrementaría respecto a los valores actuales.

La segunda alternativa que es la más viable consistió en mantener las escaleras trabajando a la mitad de la velocidad normal mientras se encontraran sin carga, garantizando menos consumo de corriente, eliminando la condición de alto consumo que se presenta al momento de arrancar y sin limitar el sistema a un número determinado de ciclos.

### **2.3. Torres de enfriamiento**

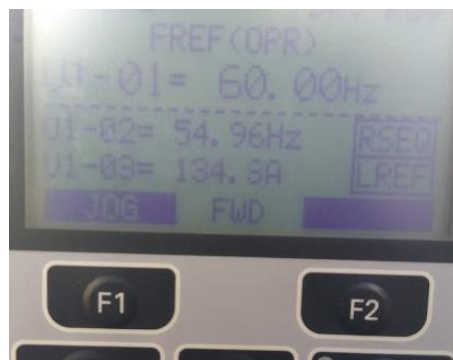
La metodología utilizada para valorar el consumo del sistema de aires acondicionados de la torre de enfriamiento, fue tomar el consumo de corriente en tres horas diferentes del día escogidas así: 6:00 es la hora inicial en que la torre enciende, las 12:00 la hora pico del aumento de temperatura ambiente por la posición del sol y las 17:00 porque en esta hora se presenta la mayor concentración de visitantes en los locales y pasillos del centro comercial, lo que implica un aumento en la temperatura ambiente del lugar. Estas mediciones dieron un resultado de 134 A (ver ilustración 2) en las tres mediciones, aunque la cantidad de equipos funcionando en las horas de medida cambiaron.

La medida de la corriente que se hizo deja evidencia que estas bombas se mantienen funcionando con toda su potencia, aunque la cantidad de aires funcionando en los locales sea mínima o nula. La potencia de los motores puede reducirse variando la frecuencia de funcionamiento manteniendo el caudal y la presión necesaria para el funcionamiento óptimo de los equipos, produciendo ahorro en el consumo eléctrico de la torre de enfriamiento.

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



*Ilustración 2 Toma de corriente en bomba de torre de enfriamiento. Fuente, los autores.*



*Ilustración 3 lectura de variador YASKAWA. Fuente, los autores.*

Para las anteriores mediciones de corriente se utilizó la pinza amperimétrica de marca UNI-T, referencia UT-202 cuyo rango de medición de corriente está dado entre 0,01 y 200 amperios de corriente alterna +/- 1.5 % de precisión. Se tomó como base de referencia los datos de placa de los motores, lámparas y sistemas intervenidos.

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

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Sistema de iluminación.

Se optó por instalar paneles led de la referencia LED HIGH BAY HBL2 110W CW de la marca SYLVANIA en las áreas comunes del centro comercial, los cuales tienen una eficiencia de 130lm/W y cumplen con todas las normas exigidas por el RETIE. Con estas luminarias se desarrolló el estudio del comportamiento en cada uno de los diferentes espacios del centro comercial contenidos dentro de las áreas de comercio.

Para el área concerniente a parqueaderos se decidió utilizar una lámpara hermética tipo LED de referencia 2X18W T8 PC NW marca SYLVANIA y se realizó el mismo estudio, pero esta vez únicamente se tomó como referencia un solo parqueadero y se replicó ya que éstos presentan la misma distribución física. Los resultados que arrojaron estos estudios confirmaron que utilizando este tipo de luminarias se cumple con los valores mínimos de iluminación que corresponden a 500lx, y adicionalmente se tendría una reducción de 31% en la cantidad de luminarias lo cual sumado a la alta eficiencia de estos paneles nos daría un ahorro total del 50.78% en el consumo eléctrico. Todo lo anterior se pudo deducir con base a los siguiente:

Se desarrolló un conteo de todas las lámparas que tiene el centro comercial en cada uno de los pisos, las cuales se pueden apreciar en las ilustraciones de la 4 a la 7 con el fin de tener una perspectiva clara de las áreas que se intervinieron.

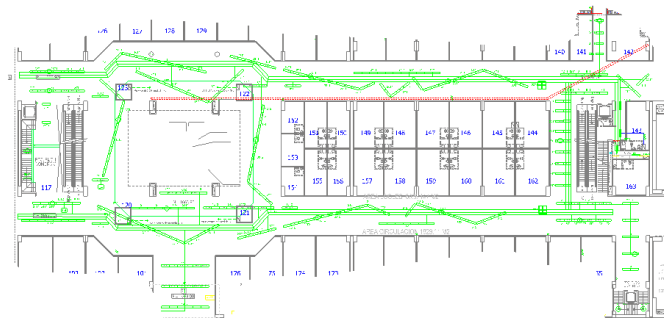


Ilustración 4 Iluminación actual piso 1. Fuente: Maxilectricos S.A.

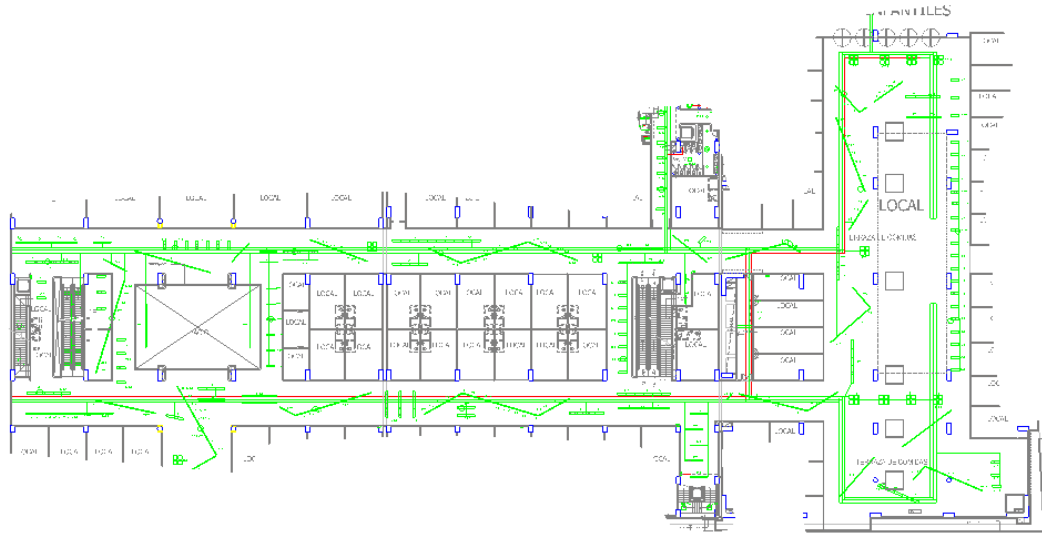


Ilustración 5 Iluminación actual piso 2. Fuente: Maxilectricos S.A.

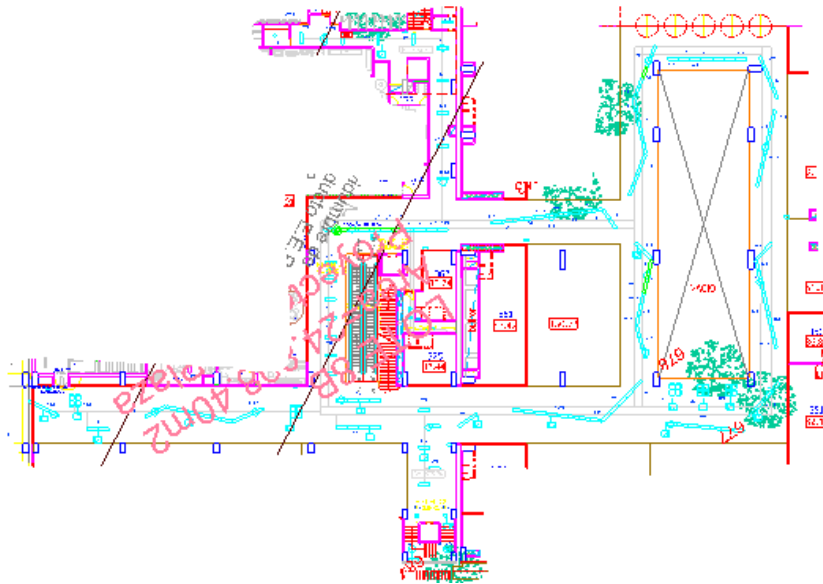


Ilustración 6 Iluminación actual piso 3. Fuente: Maxilectricos S.A.

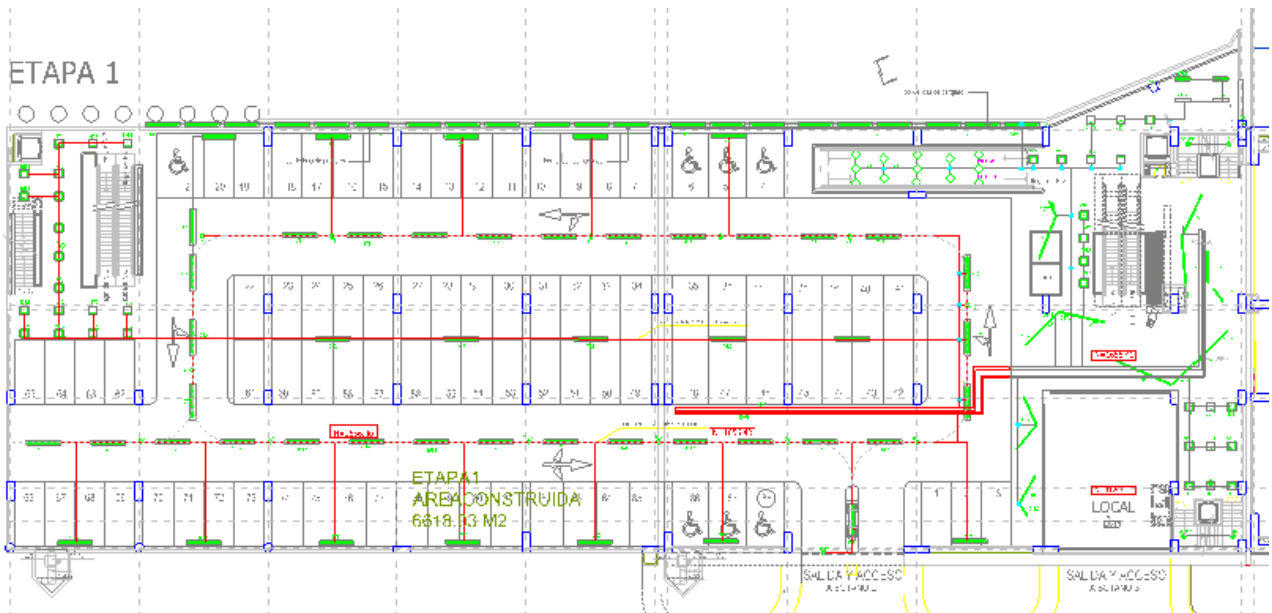


Ilustración 7 Iluminación actual sótanos. Fuente: Maxilectricos S.A.

La distribución de la iluminación actual se conforma de la siguiente manera:

Tabla 3 Iluminación actual piso 1.

Primer piso						
Tipo	Cantidad	Tubos por lámparas	Tipo de tubo	Watts por tubo de lámpara.	Watts totales	Cantidad de tubos
Luces 2X26W Entra al centro	9	2	OJO DE BUEY	26	468	18
Iluminación de sobreponer 2 X 54 W T5	321	2	T5	54	34.668	642
Luminaria 2X17W	8	2	T8	17	272	16
Luminaria hermética 2X28W T5	2	2	T5	28	112	4
<b>Totales</b>	<b>340</b>				<b>35.520</b>	<b>680</b>

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

Tabla 4 Iluminación actual piso 2.

Segundo piso						
Tipo	Cantidad	Tubos por lámparas	Tipo de tubo	Watts por tubo de lámpara	Watts totales	Cantidad de tubos
Luminaria de sobreponer 2X54W	467	2	T5	54	50.436	934
Luminaria de sobreponer hermética 2X28W	22	2	T5	28	1.232	44
Luminaria 4X17W T8	51	4	T8	17	3.468	204
Luminaria 3X17W	1	3	T8	17	51	3
Luminaria de sobreponer 1 X 28W	1	1	T5	28	28	1
<b>Totales</b>	<b>542</b>				<b>55.215</b>	<b>1.186</b>

Tabla 5 Iluminación actual piso 3.

Tercer piso						
Tipo	Cantidad	Tubos por lámparas	Tipo de tubo	Watts por tubo de lámpara	Watts totales	Cantidad de tubos
Luminaria de sobreponer 2 X 54W	148	2	T5	54	15.984	296
Luminaria hermética 2 X 32W	2	2	OJO DE BUEY	32	128	4
Luminaria escalas 2 X 32	3	2	OJO DE BUEY	32	192	6
Luminaria escalas ojo de buey cuadrado 2 X 24	2	2	OJO DE BUEY	24	96	4
Luminaria 2X 17	20	2	T8	17	680	40
<b>Totales</b>	<b>175</b>				<b>17.080</b>	<b>350</b>



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

*Tabla 6 Iluminación actual Sótanos.*

Sótanos						
Tipo	Cantidad de lámparas	Tubos por lámparas	Tipo de tubo	Watts por tubo de lámpara	Watts totales	Cantidad de tubos
Luminaria tipo industrial 2x54 T5W	69	2	T5	54	7.452	138
Luminaria 60 x 60 con acrílico 4x17W T8	20	4	T8	17	1.360	80
Luminaria de sobre poner con acrílico 1x54 T5	26	1	T5	54	1.404	26
Luminaria de sobre poner con acrílico 2x54 T6	10	2	T6	54	1.080	20
Luminaria 60 x 60 con acrílico 2x17W	13	2	T8	17	442	26
Luminaria hermética 2X28W	4	2	T5	28	224	8
Luces escaleras 2X32W	2	2	OJO DE BUEY	32	128	4
<b>Totales</b>	<b>144</b>				<b>12.090</b>	<b>302</b>
<b>Totales de los 3 sótanos</b>	<b>432</b>				<b>36.270</b>	<b>906</b>

Luego de desarrollar el conteo de las lámparas, se procedió a diseñar una propuesta de iluminación que cumpliera con los estándares exigidos por la norma, los cuales son, mínimo 500lx y máximo 1000lx para el área de almacenes y de 50lx mínimo y 150 máximo para zonas de parqueo (Energía, 2010), lo cual se logró con la ayuda del programa DIALux, que proporcionó un propuesta inicial de la distribución de las lámparas, pero a la cual se le realizaron ajustes para alcanzar los resultaos deseados. De lo anterior salió la distribución que se puede apreciar en las ilustraciones 8, 9, 10 y 11:

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

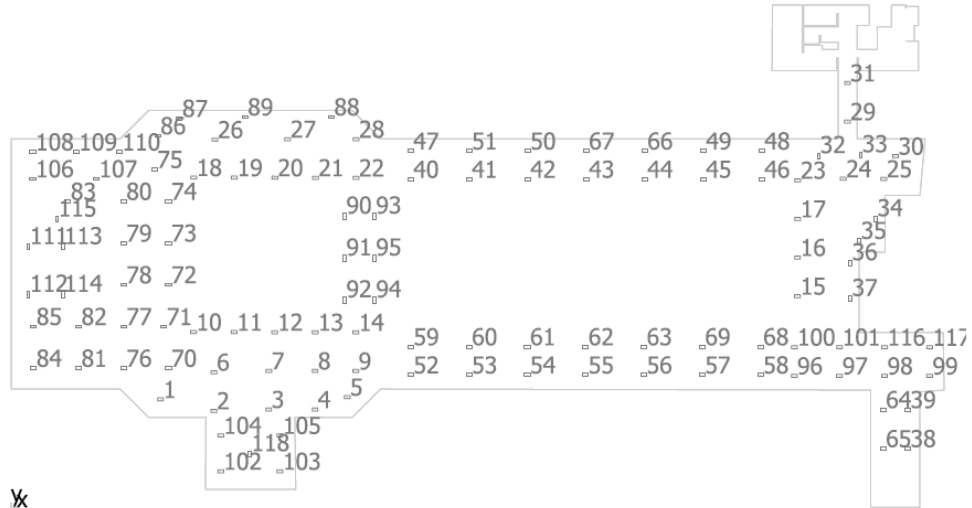


Ilustración 8 Propuesta de iluminación piso 1. Fuente, los autores.

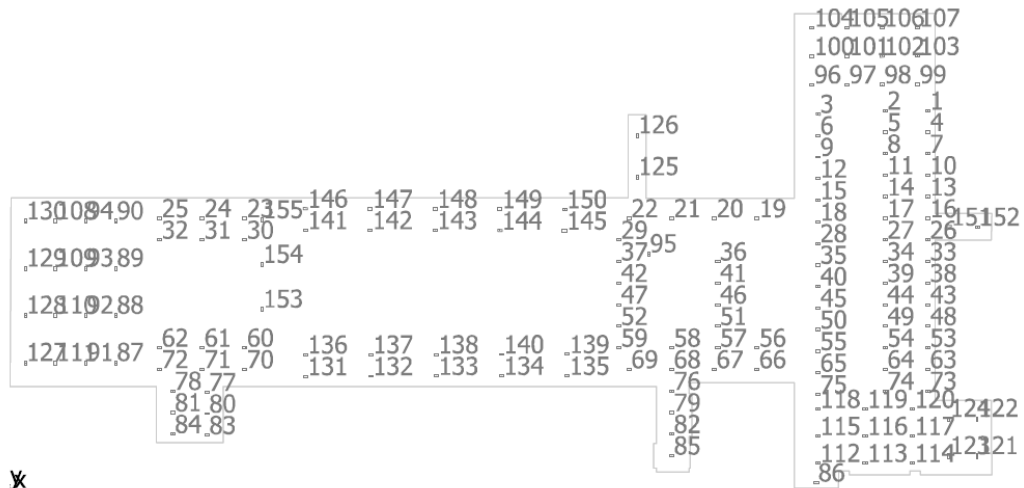


Ilustración 9 Propuesta de iluminación piso 2. Fuente, los autores.

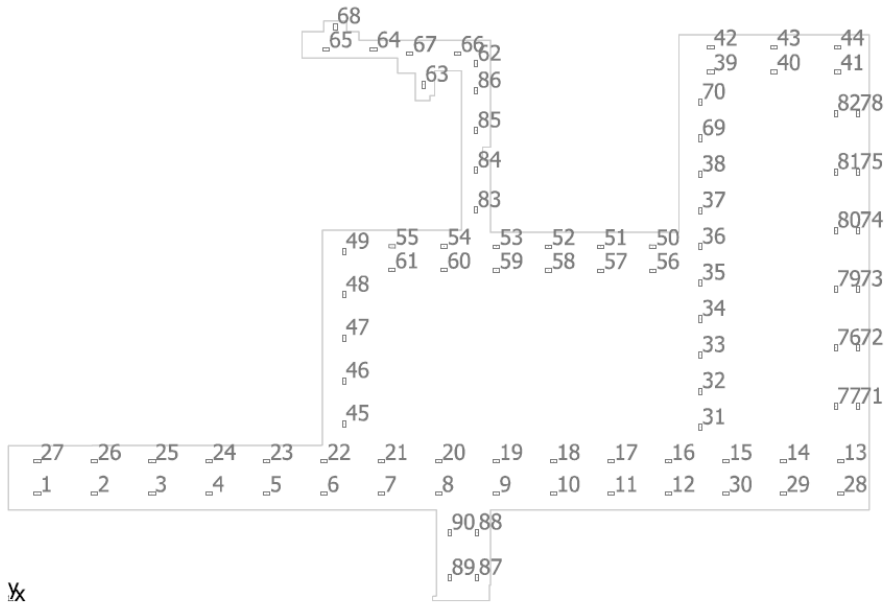


Ilustración 10 Propuesta de iluminación piso 3. Fuente, los autores.

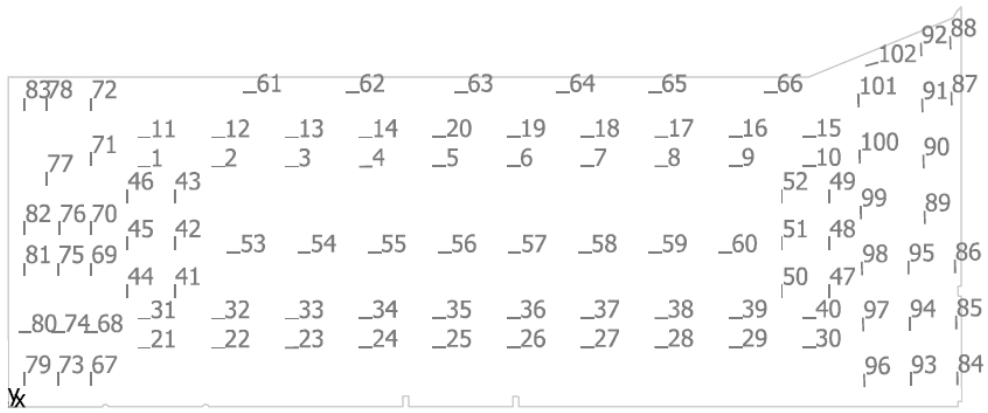


Ilustración 11 Propuesta de iluminación Sótanos. Fuente, los autores.

Con la distribución de la iluminación propuesta quedarían las luminarias agrupadas de la siguiente manera:

Tabla 7 Propuesta de iluminación piso 1.

Piso 1			
Potencia intervenida por hora			
Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Potencia intervenida (W)
SYLVANIA P27405 LED HIGHBAY HBL2 110W	111,8	118	13.192,4

Tabla 8 Propuesta de iluminación piso 2.

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

Piso 2			
Potencia intervenida por hora			
Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Potencia intervenida (W)
SYLVANIA P27405 LED HIGHBAY HBL2 110W	111,8	155	17.329

*Tabla 9 Propuesta de iluminación piso 3.*

Piso 3			
Potencia intervenida por hora			
Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Potencia intervenida (W)
SYLVANIA P27405 LED HIGHBAY HBL2 110W	111,8	90	10.062

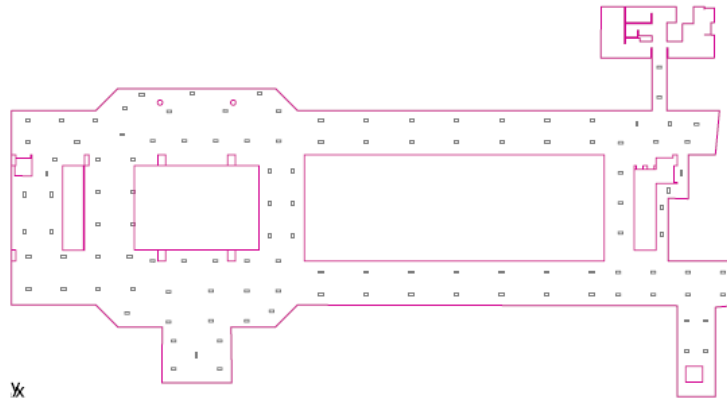
*Tabla 10 Propuesta de iluminación piso Sótanos.*

Sótanos X 3			
Potencia intervenida por hora			
Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Potencia intervenida (W)
SYLVANIA LED HERMETICA 2X18W T8 PC1x	35,5	102	3.621
Totales X 3 Sótanos	106,5	306	32.589

Con estos estudios se comprueba que las luminarias propuestas cumplen con las normas colombianas en lo que respecta al flujo luminoso que debe tenerse en un centro comercial y en las zonas de parqueaderos de este. Adicional, se simplifica el programa de mantenimiento del sistema de iluminación del centro comercial, ya que se logra estandarizar el tipo de luminaria empleando una única referencia, reduciendo significativamente la variedad de lámparas existentes, las cuales demandan hoy, frecuencias de mantenimiento diferente para cada una de estas.

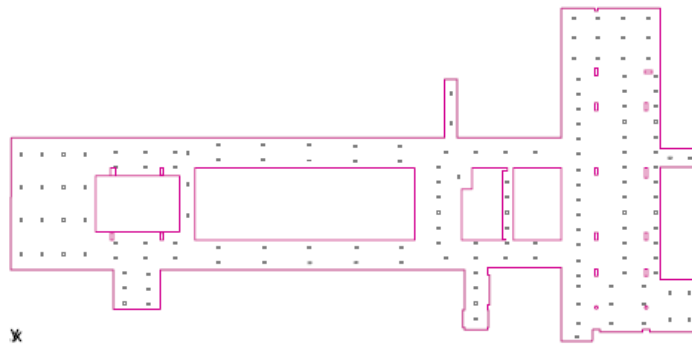
En las ilustraciones 12, 13, 14 y 15 se muestra como la disposición de las luminarias seleccionadas para cada uno de los pisos, dan una iluminación promedio en las áreas que se intervinieron superior al mínimos e inferior al máximo exigidos a nivel de piso por el RETILAP (Energía, 2010).

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



**Plano útil (Piso 1 Centro comercial Cityplaza): Intensidad lumínica perpendicular (Adaptativamente) (Superficie)**  
**Escena de luz: Escena de luz 1**  
 Media: 616 lx  
 Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m

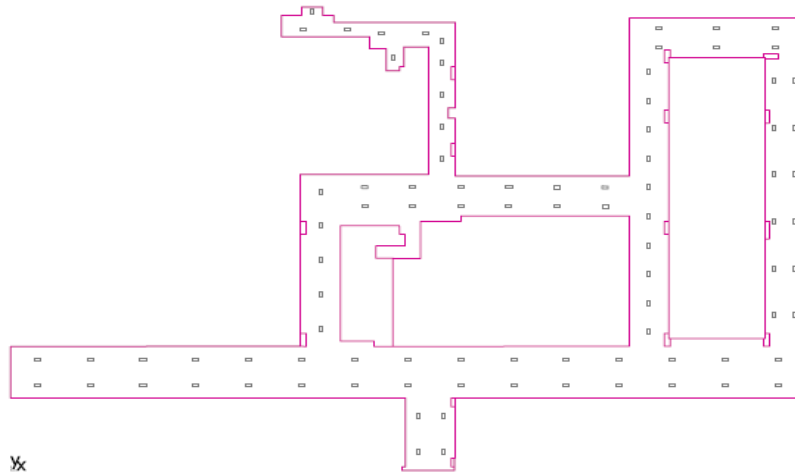
*Ilustración 12 Datos de Iluminación piso 1. Fuente, los autores.*



**Plano útil (Piso 2 centro comercial CityPlaza): Intensidad lumínica perpendicular (Adaptativamente) (Superficie)**  
**Escena de luz: Escena de luz piso 2**  
 Media: 653 lx  
 Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m

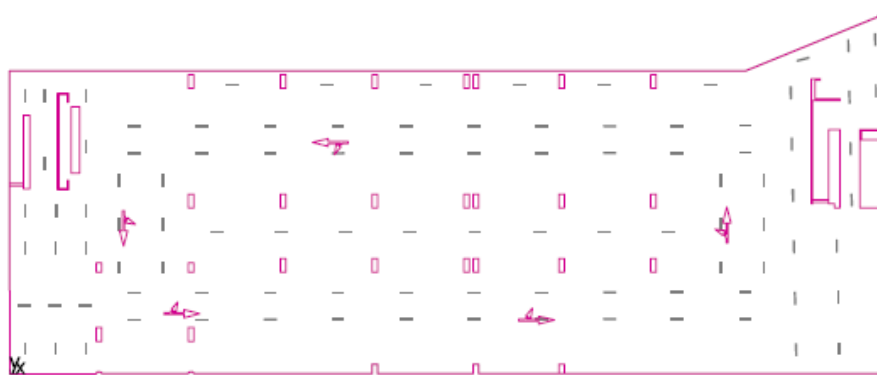
*Ilustración 13 Datos de Iluminación piso 2. Fuente, los autores.*

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



**Piso 3: Intensidad lumínica perpendicular (Adaptativamente) (Superficie)**  
**Escena de luz: Iluminación piso 3 centro comercial CityPlaza**  
 Media: 720 lx  
 Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m

*Ilustración 14 Datos de Iluminación piso 3. Fuente, los autores.*



**Parqueaderos Sotano 1: Intensidad lumínica perpendicular (Adaptativamente) (Superficie)**  
**Escena de luz: Escena de luz 1 parqueadero sotano1**  
 Media: 51.7 lx  
 Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m

*Ilustración 15 Datos de Iluminación sótanos. Fuente, los autores.*

Con los datos de las lámparas actuales y las lámparas propuestas para el cambio se pudo determinar cuáles son los consumos actuales y los consumos presupuestados en lo que respecta al tema de iluminación y de esta manera poder demostrar la viabilidad del proyecto y proyectar el tiempo que tardaría el centro comercial para recuperar la inversión y estos fueron los resultados:

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

### 3.1.1. Consumo del sistema de iluminación

Con todas las luminarias que se tienen disponibles en las áreas que se intervinieron del centro comercial y teniendo en cuenta que ellas deben estar trabajando completamente para aproximarse a la cantidad de lx exigidos por norma, se encontró que el consumo total de es de 144057 kWh, prestando un tiempo de uso promedio al mes de 420 horas (tiempo que las luminarias permanecen encendidas).

Teniendo en cuenta el costo del kWh hora en la ciudad de Medellín para industria y comercio que es de \$ 541.7 ((EPM), 2019) se encontró que el costo asociado al consumo de energía relacionado con la iluminación es de \$32.755.333. Comparando el consumo anterior con el consumo que tienen las luminarias propuestas que es de 73.172 kWh bajo las mismas condiciones de trabajo en términos de tiempo y mejorando la intensidad lumínica, el costo sería de \$ 16.634.530 lo cual daría un ahorro de \$ 16.120.802. Teniendo en cuenta que las lámparas que se proponen utilizar consumen menos corriente que las actuales, que la cantidad propuesta de lámparas es 31% menos y en vista que la red eléctrica actual cumple con las normas exigidas por el RETIE y la NTC 2050 en lo que respecta a caída de tensión, corriente que circula por los conductores y canalizaciones utilizadas, se proyecta reutilizar esta misma red teniendo presente que los cambios que se deben realizar se limitan a deshabilitar algunos puntos lo cual es un trabajo mínimo.

Los análisis anteriores se pueden visualizar mejor en las ilustraciones 16 y 17:

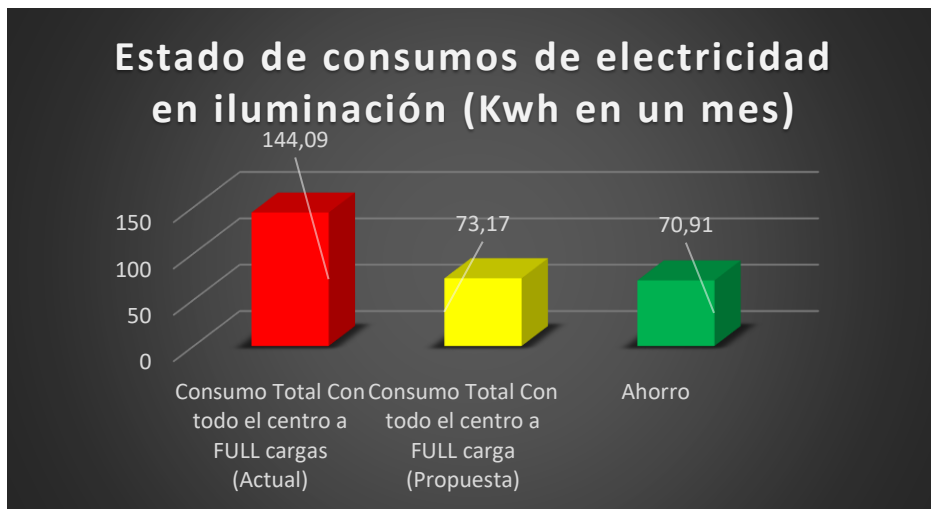


Ilustración 16 consumos de electricidad en iluminación. Fuente, los autores.

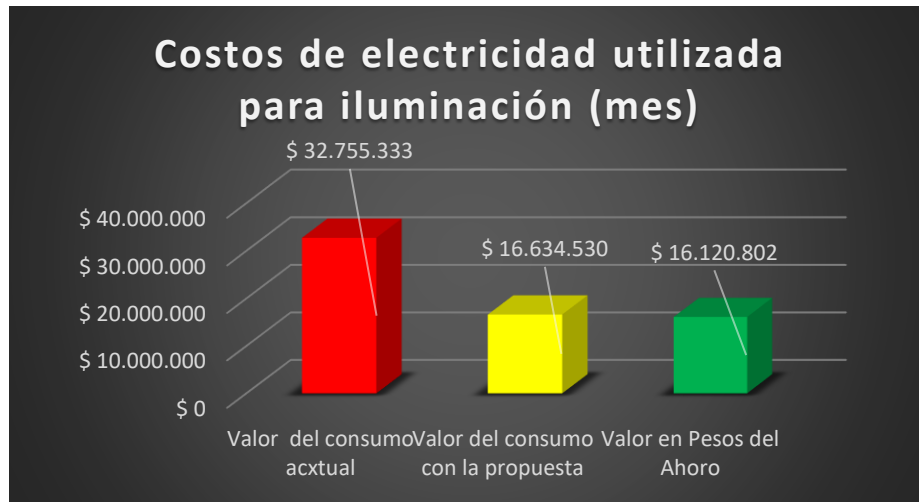


Ilustración 17 Costos de electricidad utilizada para iluminación. Fuente, los autores.

Los costos aproximados del proyecto serían:

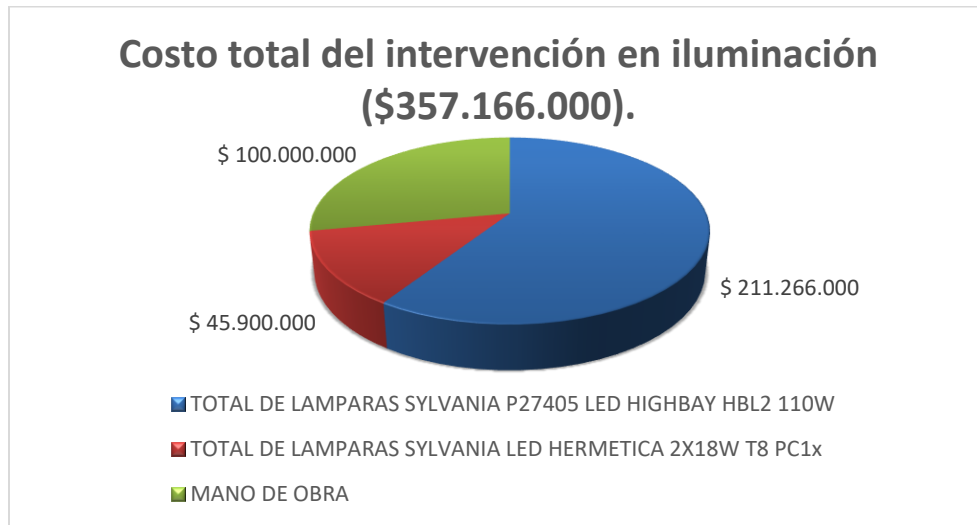
Tabla 11 Costo del proyecto de iluminación.

Costo de propuesta.			
Descripción.	Cantidad	PRECIO	Totales
LAMPARAS SYLVANIA P27405 LED HIGHBAY HBL2 110W	363	\$ 582.000	\$ 211.266.000
DE LAMPARAS SYLVANIA LED HERMETICA 2X18W T8 PC1x	306	\$ 150.000	\$ 45.900.000
Total, precio de luminarias.			\$ 257.166.000
Mano de obra			\$ 100.000.000
Costo total de la obra			\$ 357.166.000

Nota: La mano de obra corresponde a el valor total suministrado por la empresa Gallegos Ingeniería S.A.S (NIT 901219095-1), la cual cotizó la remoción e instalación de las luminarias al igual que el acondicionamiento de los techos en lo que respecta a reparaciones del Drywall y pintura.



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



*Ilustración 18 Costo del proyecto. Fuente, los autores.*

Con la anterior información y teniendo en cuenta que el fabricante garantiza este tipo de luminarias por 11 años y con el fin de prever tiempos de uso mayores a los recomendados por el fabricante que son de 12 horas por día (SYLVANIA, 2019), se trabajó con el 85% del tiempo de vida de los luminarias y de esta manera se realizó la proyección del retorno de la inversión y posterior a estos el tiempo de vida que las luminarias tendrían para generar ahorros. Con respecto a lo anterior se pudo determinar:

### 3.1.2. El retorno de la inversión.

Según el ahorro esperado al realizar el cambio de las luminarias que es de \$ 16.120.802 pesos mensuales podemos determinar cuanto tiempo tardara el centro comercial para recuperar la inversión que sería:

$Ri =$  Retorno de inversión en meses

$$Ri = \frac{\text{Costo del proyecto}}{\text{Ahorro mensual}}$$

$$Ri = \frac{\$ 357.166.000}{\$ 16.120.802}$$

$$Ri = 22,1 \text{ meses (1,84 años)}$$

### 3.1.3. El tiempo de vida restante de las luminarias.

Para calcular el tiempo que se estima de funcionamiento de las luminarias después de librar la inversión realizada, utilizamos la siguiente formula:

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

$Tr$  = Tiempo de vida restante luminaria

$Tvf$  = Tiempo de vida fabricante

$$Tr = (Tvf \times 12 \text{ meses} \times 0.85) - Ri$$

$$Tr = (11 \text{ años} \times 12 \text{ meses} \times 0.85) - 22,1 \text{ meses}$$

$$Tr = 90,1 \text{ meses (7.5 años)}$$

### 3.1.4. El ahorro estimado del proyecto antes de realizar la reposición de las luminarias.

Con el tiempo de vida restante de las luminarias se calculó cuanto sería el ahorro del proyecto antes de realizar la reposición de estas. Este ahorro sería:

$Ap$  = Ahorro total del proyecto.

$$Ap = Tr \times \text{ahorro mensual.}$$

$$Ap = 90,1 \text{ meses} \times \$ 16.120.802$$

$$Ap = \$1.452.484.260$$

### 3.2. Transporte vertical.

En lo que corresponde a las escaleras eléctricas y con los diferentes datos recolectados durante toda la investigación, se decidió que la mejor propuesta para tener un ahorro real en el sistema de transporte vertical es implementando un sistema de variadores de velocidad que mantengan las escaleras trabajando a la mitad de la velocidad en los espacios de tiempo que estas no están siendo utilizadas. Esto se lograría manteniendo las escaleras eléctricas trabajando a 30Hz, y cuando algún usuario se aproxime con la intención de utilizar las escaleras, un sensor instalado al inicio de éstas dará una señal análoga al variador para que este alcance su velocidad nominal antes que el usuario pise el primer escalón, y mantendrá esta velocidad durante todo el recorrido gracias a un contador de tiempo. Este sistema se activará con la presencia de cualquier usuario y su contador se reiniciará siempre que algún usuario se aproxime a las escaleras nuevamente.

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

Lo anterior teniendo en cuenta que los motores no se pueden dejar trabajando por debajo de los 30 Hz, por factores de auto refrigeración. Si un motor trabaja por debajo de estos valores sus bobinas sufrirán recalentamientos produciéndose un descenso en la vida útil del motor. Esto se puede observar en el barniz que cubre el conductor eléctrico, el cual permite aislar los hilos de alambre de cada bobina, ya que las propiedades del mismo se deterioran a temperaturas superiores a su diseño (Castro, 2010).

NOTA: La norma NEMA MG 1-2007, sección 12.1 establece operar mínimo a 30 y máximo 90 Hz (National Electrical Manufacturers Association, 2007).

El sistema no se implementará en todas las escaleras del centro comercial, ya que algunas de éstas debido a su ubicación tienen uso constante, lo cual haría esta inversión innecesaria ya que todo el día estarían trabajando a máxima velocidad. Por lo anterior se decidió que este sistema se aplicaría únicamente a las escaleras de los parqueaderos y algunas del área comercial que se encuentran ubicadas en el sector occidental de este centro, las cuales presentan una cantidad considerable de tiempo trabajando en vacío.

Para calcular el ahorro que tendría con las escaleras eléctricas se tomó como base las pruebas que se desarrollaron con el variador de velocidad en pruebas de campo, lo que demostró que el consumo de las escaleras presentaba una tendencia lineal (ilustración 19 y 20), lo cual arrojó los siguientes resultados:

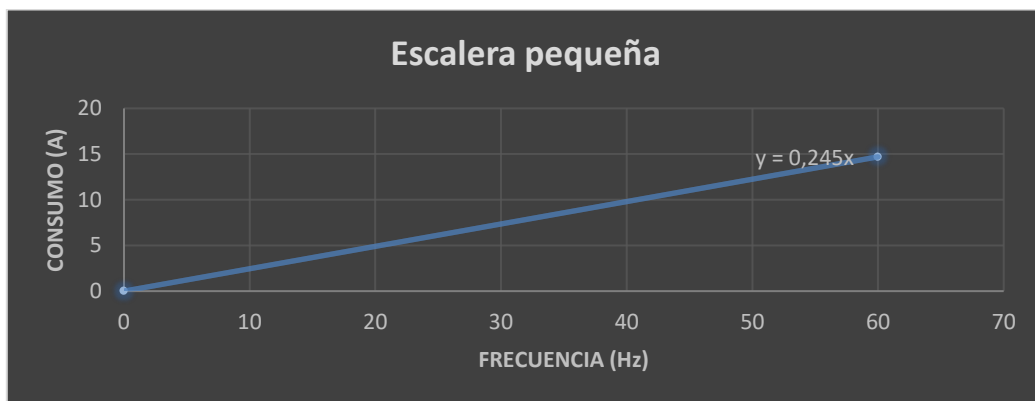


Ilustración 19 Consumo de escalera pequeña vs Hz. Fuente, los autores.

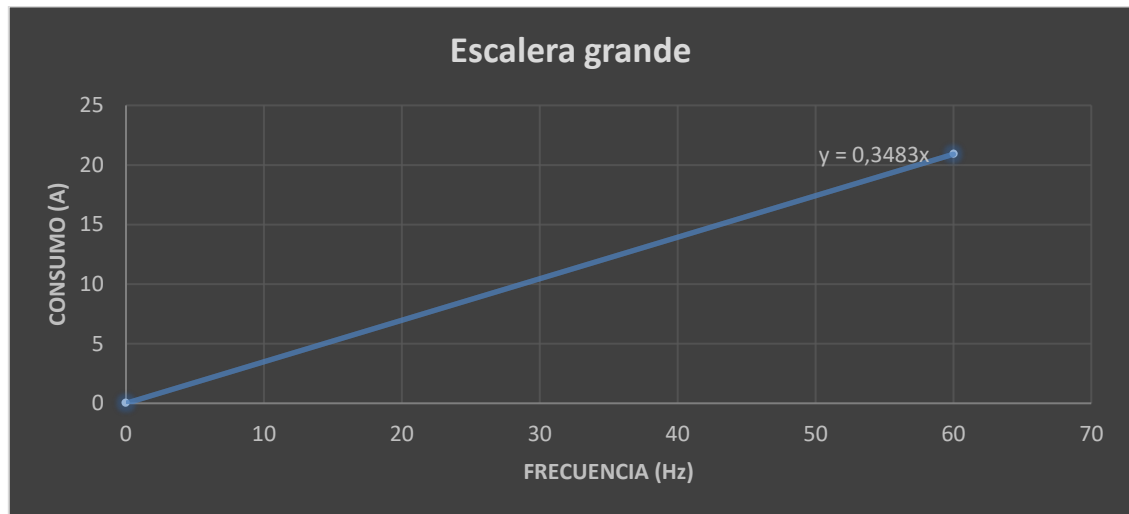


Ilustración 20 Consumo de escalera grande vs Hz. Fuente, los autores.

Nota: Se debe tener en cuenta que en las ecuaciones arrojadas por las ilustraciones 19 y 20 “y” corresponde al consumo y “x” corresponden a la frecuencia.

De las ilustraciones 19 y 20 se obtuvieron las ecuaciones de los consumos de las escaleras según la frecuencia, y de esta manera se proyectaron los ahorros que se tendrán al momento de implementar el sistema. Las ecuaciones son las siguientes:

- Escaleras pequeñas:  $Consumo [A] = 0.25(Hz \text{ Seleccionados})$
- Escaleras grandes:  $Consumo [A] = 0.3483(Hz \text{ Seleccionados})$

Con base a los tiempos de uso que se tiene en el centro comercial de las escaleras eléctricas, se tomó la decisión de intervenir 6 escaleras pequeñas y 3 escaleras grandes, las cuales presentan un índice de ocupación de 6 horas diarias, lo cual nos muestra que 5 horas del día están trabajando sin ningún tipo de carga. Por políticas del servicio que se tienen en el centro comercial, estas no pueden ser apagadas de manera permanente debido a que son las encargadas de transportar las personas desde los almacenes hasta el área del parqueadero. Con estas intervenciones se tendrán los siguientes resultados:

Tabla 12 Ahorro de escaleras sin usuarios

Ahorro por cada hora que las escaleras están sin usuarios	
Escalera pequeña trabajando a 60Hz	
14,7	A.h
Escalera pequeña trabajando a 30Hz	
7,35	A.h
Ahorro logrado en las escaleras pequeñas	

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

7,35	A.h
Escalera grande Trabajando a 60 Hz	
20,9	A.h
Escalera grande Trabajando a 30 Hz	
10,45	A.h
Ahorro logrado en las escaleras pequeñas	
10,45	A.h

*Tabla 13 Ahorro por día de cada escalera.*

Ahorro por día de cada escalera.	
Escalera pequeña.	
44,1	A.día
16,80	Kw.día
Escalera grande.	
62,7	A.día
23,89	Kw.h

*Tabla 14 Ahorro por mes (Por todas las escaleras)*

Ahorro por mes (Por todas las escaleras)		
Grandes	2.150,27	Kw.h
Pequeñas	3.024,78	Kw.h
Total	5.175,06	Kw.h

*Tabla 15 Ahorro total en pesos (Todas las escaleras)*

Ahorro total en pesos <span style="color: red;">en el mes</span>	
Grandes	\$1.163.877,61
Pequeñas	\$1.637.224,97
Total	\$2.801.102,58

Con los datos recolectados y mostrados en las tablas anteriores se obtienen la ilustración 21 que muestra el costo actual de las escaleras sin tener ningún tipo de disminución en la velocidad de los motores, y la ilustración 22 que muestra el ahorro que se tendrá al momento de disminuir la velocidad de los motores a la mitad.



Ilustración 21 Costo aproximado actual de las escaleras al mes. Fuente, los autores.



Ilustración 22 Ahorro total en pesos por mes. Fuente, los autores.

A continuación, se detallará los procedimientos a seguir para intervenir el sistema de escaleras eléctricas:

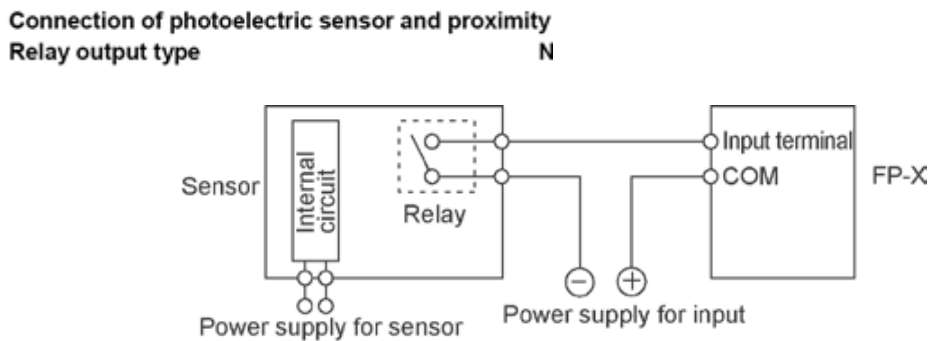
### 3.2.1. El sistema de control de escaleras eléctricas

Está compuesto por un variador marca Panasonic modelo FP-X L60 que es el corazón de control del sistema, su función es realizar todo lo que tiene que ver con el control de la escalera, recibir sus alertas por medio de sensores distribuidos en todo el recorrido de la misma, estos toman todos los estados de los diferentes componentes entregando al PLC su

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

condición para que este de forma automática decida el arranque o paro de la escalera en un estado on-off sin variaciones de frecuencia.

Lo que se pretende es intervenir este sistema para realizar un cambio de frecuencia en el funcionamiento del motor realizando la reducción de la velocidad en los momentos en que la escalera no se esté utilizando, para lo cual se tomaran las entradas digitales del variador Panasonic (ver ilustración 23 tomado del manual: Panasonic manual programmable controller FP-X User`s Manual pag 5-17) sino se cuenta con estas entradas disponibles se puede adicionar módulo de expansión, para que este reciba una señal on-off del sensor de movimiento (Ilustración 26) ubicado al principio de la escalera programándole un tiempo máximo de 40 segundos para que en este lapso el motor aumente su velocidad de 30 Hz velocidad necesaria para la autoventilación de motores a 60 Hz que es su máxima velocidad y pueda desplazar al usuario cómodamente hasta el final de su trayecto, si en el transcurso de los 40 segundos otro nuevo usuario ingresa a la escalera el tiempo iniciara nuevamente.



*Ilustración 23 FP-X entrada de sensor. Fuente: manual programmable controller FP-X User`s Manual*

Para la activación del motor se instalará un variador marca SIEMENS MICROMASTER modelo 440 para lo cual se usará como medio de programación el manual SIEMENS micromaster 440 1,12 KW- 240 KW instrucciones de uso edición 12/02 de donde tomaremos los parámetros de arranque básicos para el funcionamiento del motor, en estos se descarga los datos del motor como frecuencia, potencia, peso, tipo, tiempo de aceleración y desaceleración. Este variador tiene la función de arranque en velocidad fija modificándole el parámetro P0700 opción 2 para entradas digitales, se modifica el parámetro P0704 opción 15 para frecuencia fija después se modificará el parámetro P1001 la frecuencia mínima fija y P1004 la frecuencia máxima al recibir la señal digital del sensor de movimiento en sus entradas como las mostradas en la imagen 24 y 25. (Siemens, 2010).

	Bornes	Parámetro	Funcionamiento por defecto
Entrada digital 1	5	P0701 = '1'	ON a derechas
Entrada digital 2	6	P0702 = '12'	Invertir
Entrada digital 3	7	P0703 = '9'	Acuse de fallo
Entrada digital 4	8	P0704 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 5	16	P0705 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 6	17	P0706 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 7	Mediante AIN1	P0707 = '0'	Inactiva
Entrada digital 8	Mediante AIN2	P0708 = '0'	Inactiva

Ilustración 24 Ajuste por defecto para funcionamiento utilizando el panel SDP. Fuente: manual SIEMENS micromaster 440 1,12 KW- 240 KW (Siemens, 2010)

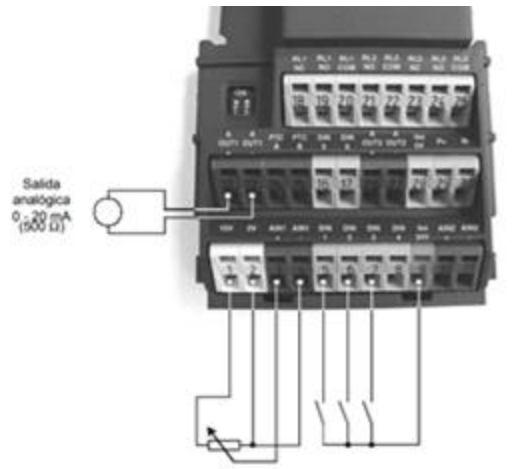


Ilustración 25 Panel SDP. Fuente: manual SIEMENS micromaster 440 1,12 KW- 240 KW (Siemens, 2010)

Tabla 16 SENSOR INFRAROJO Marca: Sommer Modelo 434868

ITEM	DETALLE	VALOR
1	Entrada de voltaje	12V~24V DC
2	Máximo rango	15 metros
3	Frecuencia de infrarrojo	1.92KHz
4	Entrada	RX 15mA, TX 30mA
5	Salida de relé	1A máximo 36V
6	Longitud de onda	940nm
7	Medidas	49.2mm×76mm×21.6mm



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



Ilustración 26 sensor infrarrojo emisor -receptor.

### 3.2.2. Costos del transporte vertical

Los costos para la implementación de este sistema fueron cotizados con la empresa que es la encargada de realizar el mantenimiento de estas, debido a condiciones del contrato que actualmente tiene el centro comercial que de no cumplirse afectaría los términos de la garantía. Los costos fueron los siguientes:

Tabla 17 Costo propuesta de automatización escaleras eléctricas \* Escalera

COSTO PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN ESCALERAS ELÉCTRICAS * ESCALERA		
ITEM	DETALLE	COSTO
1	Suministro e instalación fotoceldas BFT, Recableado de sistemas electrónicos, Reprogramación PLC PANASONIC, suministro de mano de obra instalación y reprogramación	\$ 3.500.000
	COSTO TOTAL	\$ 3.500.000

Teniendo en cuenta todos los cálculos que se realizaron, el retorno de la inversión para el sistema de transporte vertical tardaría 1.3 meses, por lo cual esta propuesta es muy viable.

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

### 3.3. Torres de enfriamiento.

El ahorro en materia del consumo eléctrico de las torres de aire acondicionado, aunque es significativo según las investigaciones de niveles de utilización por parte de los locales que pueden acceder a su uso, al momento no se pudo cuantificar exactamente por el alto costo de la implementación de los elementos técnicos para realizar las pruebas. Los elementos investigados solo permiten deducir que el sistema es adecuado para realizarle una intervención tecnológica, que reduciría el consumo energético de manera significativa a través la implementación de sensores y actuadores para regular el caudal y presión suministrada por las bombas.

También se evaluó el tema de los ventiladores de torre que se encargan de mantener la temperatura del agua baja, en el análisis se encontró que uno de estos se encuentra trabajando de una forma directa (ON-OFF) activado por un tipo de sensor de paso de corriente instalado en la salida del único variador (ver ilustración 27 recuadro amarillo) que está trabajando en el control de los ventiladores de torre que hace de este sistema una fuente de alto consumo.

Para mejorar este sistema se debe de configurar el variador existente para que reciba la señal de los indicadores de temperatura y varíen la velocidad de los ventiladores dependiendo de la temperatura además de agregar un nuevo variador ya que la torre posee dos ventiladores y cada uno debe tener por separado su variador para disminuir el pico de arranque y por ende el consumo de corriente. A continuación explicaremos el funcionamiento en términos generales del sistema de control de aire acondicionado de locales comerciales del centro comercial: posee una torre principal la cual aparece en la ilustración 28 con los respectivos materiales de construcción, la cual está ubicada en el piso 4, donde se ubican 2 motores de 75 HP uno de respaldo y uno principal para realizar el bombeo del caudal, que realizan la labor de recircular el agua por todos los pisos a través de tuberías de 12" de diámetro, posee un tablero de control en este piso que se encarga de recibir todas las señales del sistema y controlar su funcionamiento, este será el que nosotros intervengamos, posee dos variadores marca Yaskawa modelo A1000 (ver ilustración 27 recuadro rojo) y un variador marca Danfoss para control de un solo motor de torre, el otro arranca directamente sin rampa de aceleración pasa de 0 a 60 Hz en 2 segundos lo que produce picos de consumo elevados, solo está conectado a través del otro variador por un sistema de sensor de corriente que se prende automáticamente al arrancar el motor conectado al variador y este lo hace por aumento de temperatura en el agua de la piscina.

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

Para realizar la automatización se instalará un diferencial de presión a una distancia de los motores de no menos de 10 metros, para no alterar la lectura del instrumento; este se encargará de tomar las presiones de entrada y salida dando una muestra de voltaje según los equipos conectados y dependiendo de este nivel de voltaje será el funcionamiento de la bomba de caudal regulando así la velocidad de la bomba de acuerdo a las necesidades, recordemos que el mínimo de funcionamiento de la bomba es de 30Hz para realizar la función de auto enfriamiento y el máximo es de 60 Hz cuando todos los equipos estén conectados. La señal del diferencial de presión será recibida por el variador marca Jaskawa A1000 a través un transductor en sus pines de entrada análoga y con la programación este iniciará su funcionamiento según el voltaje recibido.



*Ilustración 27 tablero de control torre de enfriamiento. Fuente, los autores.*

El otro tema que se relaciona con el ventilador de torre y su mejora técnica se refiere a tomar la señal de temperatura ya existente y llevarla hasta el nuevo variador para producir un arranque suave y de ser necesario una velocidad inferior para mantener la temperatura de salida del agua en la piscina en 70° F ya que la temperatura de entrada es de 90° F. El variador que se utilizara será el variador MICROMASTER 440 de SIEMENS por sus ventajas técnicas y facilidad de programación posee entradas análogas y digitales capaces de recibir la señal análoga de la temperatura a través de un transductor y producir una rampa de aceleración suave programada hasta una velocidad deseada y al momento de alcanzar la temperatura requerida por el agua se apagara en una rampa de descenso igualmente programada con anterioridad lo cual nos produce un ahorro significativo ya que al momento

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

este motor arranca con picos de consumo de corriente lo que implica un desperdicio de energía.

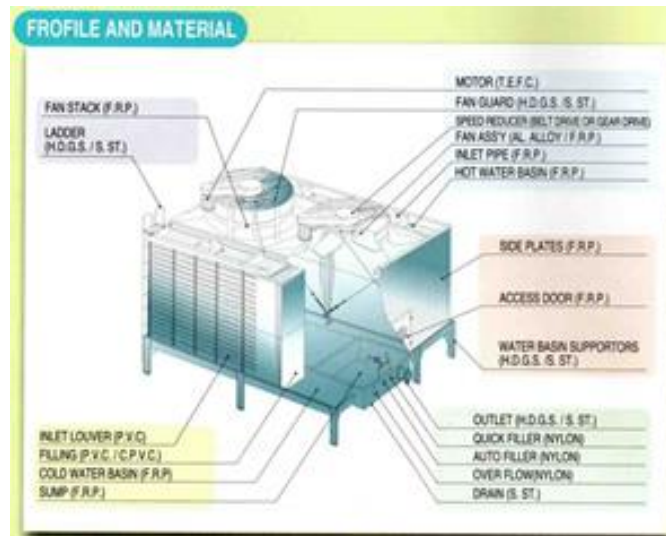


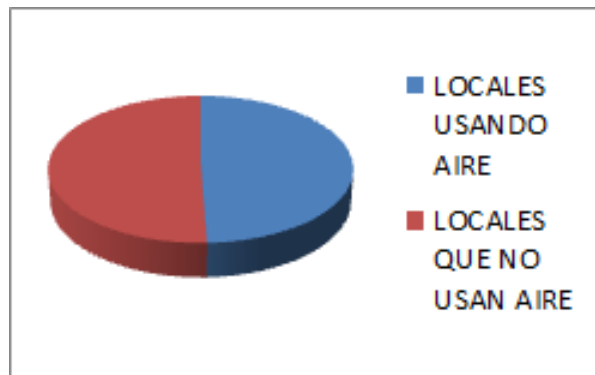
Ilustración 28 Torre de enfriamiento. Fuente: LRC-H Y LCR-SAS manual de torres de enfriamiento (Institución para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006)

Dentro del análisis realizado en los equipos nos da como resultado que se requiere una mejora técnica en el control principal de motores de bombeo en torre de enfriamiento, que permita la independencia del sistema, ya que en el momento se necesita que un operario sea quien realice la rotación de motores de forma manual moviendo muletillas por lo cual se analizó la viabilidad de instalar un sistema automático de rotación de motores compuesto por un programador horario Schneider Electric (Ilustración 29), que en sus funciones tiene la forma de programar día por día el encendido de los motores principales de torre que son de 75 HP. Este programador horario tiene una salida normalmente abierta y otra cerrada, las cuales se utilizarán de la siguiente forma: cuando la entrada abierta se cierre energizara los contactos que normalmente utilizaban las muletillas de control del motor A y cuando se desenergice se pondrá en “on” la muletilla de control del motor B, produciendo una alternación en los motores de acuerdo a lo establecido por el operario que según recomendación técnica debe ser intervalos de 24 horas.



*Ilustración 29 Programador Schneider CCT15720. Fuente: (Schneider Electric Industries SAS, 2007)*

A continuación, se detallan algunos gráficos explicativos del uso de los sistemas de aire acondicionado lo que permite visualizar mejor la subutilización del sistema porque solo se utiliza el 49.4% del total de capacidad. Este porcentaje se obtiene al tomar la totalidad de locales que pueden usar el sistema de aire acondicionado que son 85, y el porcentaje que en realidad lo utilizan que son 42, o sea el 49,4%. Ya que hay una cantidad equivalente a casi la mitad que no lo utilizan por costos, por valoración del propietario o porque el local aún está desocupado.



*Ilustración 30 Uso de aire acondicionado. Fuente, los autores.*

En la ilustración 31 se puede observar la utilización del sistema de aire acondicionado en el centro comercial Cityplaza; en la columna de la izquierda se observa la cantidad de locales que encienden el aire acondicionado, y en la parte inferior observamos la hora de encendido y apagado a lo largo del día. En el recorrido de la gráfica se muestra las horas en

que el sistema tiene menos equipos conectados y las horas de más uso. Los datos son obtenidos del control de apertura de los locales del centro comercial y las encuestas realizadas con administradores de las horas de trabajo de los aires acondicionados de sus respectivos locales.



Ilustración 31 Horas de consumo por local. Fuente, los autores.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### CONCLUSIONES

- El consumo eléctrico del centro comercial Cityplaza puede ser reducido de manera significativa interviniendo los sistemas de iluminación, escaleras eléctricas y torres de enfriamiento implementando mejoras tecnológicas como lámparas tipo led, sensores y controladores automáticos para el manejo más eficaz del consumo de energía.
- El actual sistema de iluminación existente, lejos de ser eficaz es obsoleto, no cumple los estándares reglamentarios y está saturado por la cantidad de lámparas; además está limitado en los lúmenes que suministra debido al tipo de carcasa y difusores que posee; la implementación del tipo de lámpara analizada aportaría en el ahorro económico y la eficacia lumínica.
- La implementación de sistemas de automatización en escaleras permitirá un significativo ahorro de energía eléctrica, pero debe ir de la mano con una sensibilización al usuario para el uso de estas.
- El ahorro en materia de torres enfriamiento es más difícil de proyectar, ya que la manipulación de las bombas solo sería posible con la implementación de sensores de flujo y presión para que estos regulen el funcionamiento de las bombas y por problemas de costos no es posible implementar estos elementos solo para experimentación.

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

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se implemente un plan de modernización que lleve al centro comercial de la mano de las nuevas tecnologías y no permita que su nivel de competitividad disminuya en un medio tan competitivo.
- Se recomienda mantener un monitoreo continuo de los sistemas de iluminación, ya que al momento de realizar las pruebas en campo se encontró que varias luminarias estaban en mal estado, lo cual afecta la calidad del servicio y deja una mala imagen con los clientes.
- Se recomienda que en las horas de la mañana y altas horas de la noche donde únicamente se encuentran abiertos algunos locales comerciales, se habiliten únicamente los pasillos y escaleras que den acceso a estos, con el fin de disminuir el consumo eléctrico de sistemas innecesarios.



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

## **TRABAJO FUTURO**

El trabajo actual deja las puertas abiertas para aumentar las posibilidades de ahorro dentro del centro comercial, implementando equipos existentes en el mercado con posibilidades de programar horas de encendido, clasificando y sectorizando las áreas del centro comercial, mediante la creación de escenarios de iluminación que permitan realizar valoraciones de usos de iluminación creando ambientes de acuerdo a las necesidades de los espacios y ambientes particulares. En los parqueaderos se instalarían sensores de movimiento y de acuerdo al flujo de ocupación de éstos, se encenderían las zonas previamente programadas, todo este manejo se daría a través de medios de control remotos, aprovechando las tecnologías de las comunicaciones vía red de datos, lo cual no se desarrolló en este proyecto por no estar dentro de los alcances del mismo.

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

## 5. REFERENCIAS

---

- (EPM), E. P. (2019). *Factura de Energía*. Medellín.: EPM.
- Castro, O. G. (2010). Prevención de las fallas de los motores trifásicos de inducción mediante una adecuada selección. *Tecnología en Marcha.*, 78-93.
- DIAL. (2018). Manual DIALux EVO. EE.UU.: DIAL.
- E. O. Hernández, L. A.-V. (2014). DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO ELÉCTRICO APLICADO A UNA PLANTA DE REFINERIA. *IEEE*, 87-93.
- Energía, M. d. (2010). RETILAP.
- Institución para la Diversificación y Ahorro de la Energía . (Marzo de 2006). Guía Técnica para Torres de Enfriamiento. Madrid, España: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- Luis Fernando Mantilla Peñalba, J. A. (2003). Gestión Energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad . *Google Académico*.
- National Electrical Manufacturers Association. (2007). NEMA MG 1-2007. 2007.
- Ponce, P. (2016). *Máquinas Eléctricas Técnicas Modernas de Control* (Segunda ed.). Mexico: Alfaomega.
- Schneider Electric Industries SAS. (Febrero de 2007). schneider-electric. *manual programador Schneider CCT15720*. Rueil Malmaison, Francia. Obtenido de [www.schneider-electric.com.co](http://www.schneider-electric.com.co)
- Siemens. (2010). *MANUAL MICROMASTER 440*.
- SYLVANIA. (2019). *Ficha Técnica LED HERMETICA 2X18W T8 PC*. SYLVANIA.
- SYLVANIA. (2019). *Ficha Técnica panel LED HIGH BAY HBL2 110W CW*. SYLVANIA.

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

## 6. APÉNDICE

---

- 1- Cálculos completos piso 1 centro comercial.
- 2- Cálculos completos piso 2 centro comercial.
- 3- Cálculos completos piso 3 centro comercial.
- 4- Cálculos completos sótanos centro comercial.

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

FIRMA ESTUDIANTES Fabian Calle Cc.70166469  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 CC: 1036392508  
 Segunda entrega del informe final, para su evaluación, 20190710

FIRMA ASESOR   
 \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: 10 de julio de 2019

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

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

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

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

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

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

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