

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# **Diseño y estudio de eficiencia eléctrica del sistema de iluminación de Centroaceros S.A.S.**

Robinson García Sánchez  
Francisco Javier Agudelo Cuesta

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Electromecánico

Asesor  
Carlos Alberto Acevedo Alvarez, IM

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento de Mecatrónica y Electromecánica  
Medellín, Colombia

2022

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

---

El aprovechamiento de la energía eléctrica de forma eficiente y racional es uno de los objetivos que en la actualidad buscan las empresas para ser más competitivas, el desarrollo tecnológico de todos aquellos elementos que intervienen en una producción cada vez más eficiente, optimiza el consumo de energía eléctrica para así lograr una mayor rentabilidad. En la actualidad la industria es el más grande consumidor de energía eléctrica debido a la expansión y la diversidad de actividades que se desarrollan para producir un bien, pero muchas veces para lograr dicho objetivo, los métodos e instalaciones no son las adecuadas para generar una eficiencia energética.

El presente proyecto está enfocado en el sistema de iluminación de una empresa donde se procesa el acero de medianos carbonos por medio de trefilación (Centroaceros S.A.S), en la cual la iluminación es deficiente, obsoleta y costosa, y, gran parte de la energía necesaria para funcionar se transforma en calor y la luminiscencia se degrada con el tiempo. Por otro lado, existen tiempos no productivos donde las luminarias se mantienen encendidas, generando así costos innecesarios.

La propuesta en mención, busca implementar un sistema de iluminación más eficiente, confiable, automático y amigable con el medio ambiente, además de cumplir con estándares y normas a nivel nacional. Para dicho propósito se tomarán datos reales del estado actual del sistema eléctrico de las luminarias para evaluar cual sistema es el más indicado, además de mostrar con estudios bien fundamentados los ahorros energéticos y económicos a los que se puede llegar.

Dentro de los resultados obtenidos para la eficiencia eléctrica de Centroaceros S.A.S., se realizó un comparativo de la tecnología Metal Halide vs la tecnología LED, de las cuales se pudo evidenciar la tecnología LED como la más eficiente para la empresa, debido al bajo consumo eléctrico y la vida útil, representando un ahorro sustancial en la facturación de energía eléctrica.

*Palabras clave:* Eficiencia eléctrica, iluminación artificial, medio ambiente, RETIE tecnología LED.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# ACRÓNIMOS

---

*Ag* Azufre

*ANLA* Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

*AT* Alta tensión

*BT* Baja tensión

*CREG* Comisión de Regulación de Energía y Gas

*Cu* Cobre

*EAT* Extra alta tensión

*EPA* Agencia de Protección Ambiental

*EPM* Empresas Públicas de Medellín

*FEM* Fuerza electromotriz

*kV* kilo voltios

*MBT* Muy baja tensión

*MT* Media tensión

*NTC* Norma Técnica Colombiana

*RETIE* Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

*SEP* Sistema Eléctrico de Potencia

*SIN* Sistema Interconectado Nacional

*SNT* Sistema de Transmisión Nacional

*STR* Sistema de Transmisión Regional

*PTM* Protección Termomagnética

*Icc* Corriente de cortocircuito

*PdC* Poder de Corte

*UGR (Unified Glare Rating)* Índice de deslumbramiento Unificado

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## TABLA DE CONTENIDO

---

LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS.....	8
1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 GENERALIDADES .....	9
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 Objetivo general. ....	10
1.2.2 Objetivos específicos. ....	10
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	10
2 MARCO TEÓRICO .....	12
2.1 DEFINICIÓN DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA ELECTRICA.....	12
2.1.1 Generación de Energía Eléctrica. ....	14
2.1.2 Transmisión y distribución. ....	15
2.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	17
2.2.1 La norma técnica colombiana NTC 2050. ....	18
2.2.2 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE .....	18
2.2.3 Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP. ...	19
2.3 ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO.....	20
2.3.1 Tipos de iluminación .....	21
2.3.1.1 Lámparas incandescentes. ....	22
2.3.1.2 Lámparas incandescentes halógenas. ....	22
2.3.1.3 Tubos fluorescentes. ....	23
2.3.1.4 Lámparas de vapor de mercurio. ....	24
2.3.1.5 Iluminación LED. ....	25
2.3.1.6 Luxómetro. ....	26
2.4 CONCEPTO DE INVERSIÓN .....	27
3 METODOLOGÍA.....	30

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.1	Consumo de energía eléctrica actualmente de las luminarias en la nave.....	32
3.1.1	Cálculo de la potencia instalada (kW) .....	33
3.1.2	Cálculo del consumo de energía (luminaria Metal Halide-400W) .....	34
3.1.3	Características de luminaria Metal Halide tipo campana de 400W .....	34
3.1.3.1	Datos del balasto reactor.....	35
3.1.3.2	Datos del tipo de bombilla .....	35
3.2	Consumo de energía eléctrica en la nave con luminarias tipo LED .....	36
3.2.2	Cálculo del consumo de energía (luminaria LED-250 W) .....	37
3.2.3	Característica de luminaria LED tipo campana de 250W .....	37
3.3	Dimensionamiento de las luminarias .....	38
3.3.1	Cálculo de la iluminación por el método de los lúmenes para luminarias tipo Campana Metal Halide-400 W .....	38
3.3.1.1	Determinación de la altura de las luminarias .....	38
3.3.1.2	Cálculo del índice del local (K). .....	40
3.3.1.3	Determinación del factor de utilización (Cu).....	41
3.3.1.4	Factor de Mantenimiento .....	42
3.3.1.5	Niveles de Iluminancia .....	43
3.3.1.6	Determinación del flujo luminoso total ( $\Phi_T$ ) .....	44
3.3.1.7	Determinación del número mínimo de luminarias (N).....	45
3.3.1.8	Distribución de las luminarias en la nave .....	45
3.3.1.9	Comprobación del resultado .....	47
3.3.1.10	Valor de la eficiencia energética de la instalación VEEI (lámpara Metal Halide) .....	47
3.3.2	Luminarias tipo Campana LED industrial 250 W.....	48
3.3.2.1	Cálculo de la iluminación por el método de los lúmenes Campana LED 250 W.....	48
3.3.2.2	Determinación de la altura de las luminarias .....	48
3.3.2.3	Cálculo del índice del local (K) .....	49
3.3.2.4	Determinación del factor de utilización (Cu).....	49

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3.2.5	Determinación del flujo luminoso total.....	50
3.3.2.6	Cálculo del número de luminarias (N) .....	51
3.3.2.7	Distribución de luminarias en la nave .....	51
3.3.2.8	Comprobación del resultado .....	53
3.3.2.9	Valor de la eficiencia energética de la instalación VEEI (luminaria LED) 53	
3.3.3	Cálculo de luminarias por el Software DIALux .....	54
3.4	Diseño Eléctrico de la Instalación .....	54
3.4.1	Dimensionamiento de los Conductores .....	55
3.4.1.1	Cálculo de la corriente nominal bifásica .....	56
3.4.1.2	Selección del conductor.....	57
3.4.1.3	Selección del dispositivo de protección.....	58
3.4.1.4	Caída de tensión del conductor principal.....	60
3.4.1.5	Resumen del cálculo del conductor.....	61
3.4.1.6	Selección de la canalización .....	62
3.4.1.7	Circuito ramal de las luminarias .....	63
3.4.1.7.1	Caída de tensión circuito ramal .....	64
3.4.1.7.2	Resumen circuito ramal.....	65
3.4.1.7.3	Selección de la canalización.....	65
3.5	Sistema de control automático.....	69
3.6	Sistema de Protección .....	72
3.7	Inversión y Costos.....	73
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
4.1	Comparación general de los sistemas de iluminación LED y Metal Halide .....	74
4.1.1	Eficiencia Energética.....	75
4.1.2	Ahorro Energético .....	76
4.1.3	Retorno de la inversión.....	78
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	82
	REFERENCIAS.....	84

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ANEXOS .....89

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> <i>Cargas Eléctricas</i> .....	12
<b>Figura 2.</b> <i>Conductor que se mueva a través de un campo magnético</i> .....	14
<b>Figura 3.</b> <i>Red de suministro eléctrico</i> .....	15
<b>Figura 4.</b> <i>Partes de una bombilla incandescente</i> .....	22
<b>Figura 5.</b> <i>Partes de una lámpara fluorescente</i> .....	23
<b>Figura 6.</b> <i>Partes de una lámpara de vapor de mercurio</i> .....	25
<b>Figura 7.</b> <i>Partes de un Diodo led</i> .....	26
<b>Figura 8.</b> <i>Luxómetro</i> .....	27
<b>Figura 9.</b> <i>Reflector Aluminio C/Equipo 400W-M.H.-220V-19 pulgadas</i> .....	33
<b>Figura 10.</b> <i>Altura para luminarias en suspensión</i> .....	39
<b>Figura 11.</b> <i>Dimensiones para determinar el índice del local</i> .....	40
<b>Figura 12.</b> <i>Cálculo de luminarias</i> .....	54
<b>Figura 13.</b> <i>Interruptor termomagnético</i> .....	59
<b>Figura 14.</b> <i>Diagrama unifilar sistema de iluminación</i> .....	66
<b>Figura 15.</b> <i>Diagrama de distribución eléctrica (tramo 1)</i> .....	67
<b>Figura 16.</b> <i>Diagrama de distribución eléctrica (tramo 2)</i> .....	68
<b>Figura 17.</b> <i>Interruptor programable de horario</i> .....	69
<b>Figura 18.</b> <i>Contactador bipolar</i> .....	70
<b>Figura 19.</b> <i>Suiche de codillo</i> .....	70
<b>Figura 20.</b> <i>Diagrama de control para el sistema de encendido automático</i> .....	71
<b>Figura 21.</b> <i>Interruptor termomagnético bipolar</i> .....	72
<b>Figura 22.</b> <i>Costo anual de la inversión</i> .....	78
<b>Figura 23.</b> <i>Tiempo de recuperación de la inversión</i> .....	81

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## LISTA DE TABLAS

---

<b>Tabla 1.</b> <i>Requisitos para Lámparas y Luminarias</i> .....	19
<b>Tabla 2.</b> <i>Nivel luminoso Vs edad</i> .....	21
<b>Tabla 3.</b> <i>Iluminación en el puesto de trabajo</i> .....	31
<b>Tabla 4.</b> <i>Altura de las luminarias en suspensión</i> .....	39
<b>Tabla 5.</b> <i>Índice de local</i> .....	40
<b>Tabla 6.</b> <i>Factor de Utilización Lámpara MH</i> .....	42
<b>Tabla 7.</b> <i>Valores Típicos de Factor de Mantenimiento</i> .....	43
<b>Tabla 8.</b> <i>Índice UGR Máximo y niveles de Iluminancia Exigibles para Diferentes Áreas y Actividades</i> .....	44
<b>Tabla 9.</b> <i>Distribución de las Luminarias en la Nave Industrial</i> .....	46
<b>Tabla 10.</b> <i>Factor de Utilización Lámpara LED</i> .....	50
<b>Tabla 11.</b> <i>Distribución de las Luminarias en la Nave Industrial</i> .....	52
<b>Tabla 12.</b> <i>Capacidad de Corriente Permisible en Conductores Canalizados</i> .....	58
<b>Tabla 13.</b> <i>Selección de PTM y Conductores para Tierra</i> .....	60
<b>Tabla 14.</b> <i>Dimensión de los Conductores Aislados</i> .....	62
<b>Tabla 15.</b> <i>Dimensión de las Secciones de los Tubos</i> .....	63
<b>Tabla 16.</b> <i>Costo del Cambio de Sistema de Iluminación</i> .....	73
<b>Tabla 17.</b> <i>Características de las Luminarias</i> .....	75
<b>Tabla 18.</b> <i>Tiempo Real de Funcionamiento</i> .....	76
<b>Tabla 19.</b> <i>Consumo de Energía de las Luminarias</i> .....	77
<b>Tabla 20.</b> <i>Cálculo del TIR</i> .....	80

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1 INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 GENERALIDADES

El objetivo o propósito de todo proyecto energético donde se busque diseñar, mejorar o establecer nuevas tecnologías, es utilizar la energía de una forma segura, racional, sostenible y eficiente, cumpliendo toda la normatividad y estándares nacionales e internacionales. De esta forma se contribuye a uno de los objetivos del desarrollo sostenible establecidos por la Conferencia de las Naciones Unidas realizada en Rio de Janeiro en 2012 (Naciones Unidas CEPAL, 2021).

El fenómeno de la iluminación, aunque cotidiano, pasa inadvertido para muchas personas; es un tema que abarca varios factores que se deben tener en cuenta al momento de visibilizar la sensibilidad de contraste o capacidad de discriminar las diferencias de luminancia y color, pues se debe tener claro que es lo que se espera de un sistema de iluminación, ya que hablar de eficiencia no es solamente analizar el ahorro de energía eléctrica y lo que representa en cuestión de dinero, sino que va más allá, a lo que debe brindar a aquella persona que desarrolla alguna actividad laboral en una ambiente iluminado y lo que se puede lograr con unas condiciones dignas, tales como: la agudeza visual, la eficiencia de acomodación, el rendimiento en la productividad, el confort y bienestar. Los bajos niveles de confort están asociados a la fatiga ocular que reduce el tamaño de las pupilas en iluminación excesiva y las vuelve a expandir cuando la iluminación es pequeña. (Comité Español de Iluminación, 2010)

El uso racional y eficiente de la energía eléctrica es uno de los propósitos relevantes en la actualidad, debido a la alta demanda que se presenta al aumentar la población mundial, los niveles de productividad y el desplazamiento; un ejemplo claro son los autos eléctricos, que han tenido un crecimiento notorio; de un lado, se excede el consumo de combustibles fósiles, y por el otro, el incremento de la producción de energía eléctrica para suplir la necesidad de cargar las baterías de dichos autos.

Ahora bien, el sector de iluminación consume el 19% de la electricidad mundial, por lo cual es relevante el uso e implementación de luminarias eficientes que promuevan el uso sostenible

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de la energía eléctrica, el ahorro económico derivado de la eficiencia energética y la innovación en nuevas formas de iluminación en las áreas productivas, para la preservación del medio ambiente.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Diseñar un sistema de iluminación más eficiente, que permita ser controlado por medio de un sistema automático y cuyas características eviten los lapsos de reinicio por caída de tensión en las luminarias de la planta de producción y los pasillos de acceso.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Realizar un estudio donde se compare el consumo de energía eléctrica entre el sistema de iluminación actual y el que se desea diseñar, utilizando un analizador de redes como herramienta especializada para la medición de los fenómenos eléctricos.
- Dimensionar el número y tipo de luminarias necesarias para obtener el mejor rendimiento de lúmenes versus la potencia eléctrica.
- Hacer una comparación de costos entre el sistema de iluminación tradicional y el sistema nuevo a implementar.
- Realizar los planos de distribución eléctrica en la planta, los planos eléctricos de control y el dimensionamiento de los conductores eléctricos.
- Elaborar el estudio de factibilidad económica de la propuesta.

## **1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS**

En el capítulo 1 se encuentra la introducción, donde el lector puede hacerse una idea de los temas más relevantes a tratar en el trabajo.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En el capítulo 2 está el marco teórico, como su nombre lo indica, es toda la información necesaria para que el lector entienda los fenómenos, teorías y normativas que corresponden al desarrollo del trabajo.

El capítulo 3 se encuentra la metodología, allí es donde se desarrolla toda la información relacionada con métodos utilizados para el cálculo, el instrumento de medida, normativas para la selección de materiales, entre otros.

En el capítulo 4 se encuentran los resultados y discusión, donde se hace el análisis de factibilidad del proyecto, presentado con cifras, gráficos el tiempo de la recuperación de la inversión.

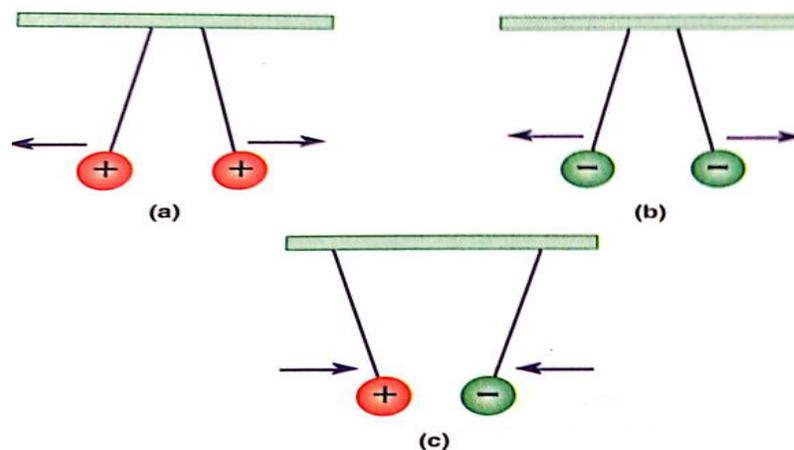
En el capítulo 5 se encuentran las conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro, donde se da respuesta a los objetivos planteados en el trabajo, además de los inconvenientes presentados en el desarrollo del mismo.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 DEFINICIÓN DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA ELECTRICA

La palabra electricidad proviene del griego “elektron” que significa ámbar, esto debido al fenómeno que observó Thales de Mileto (600 años A.C). Él encontró que, al frotar ámbar, este atraía objetos livianos; a pesar de que se conocía este fenómeno, comenzó a ser utilizado para fines médicos; en el siglo XVII el médico inglés Guillermo Gilbert comenzó a estudiar la electricidad de una forma más profunda para curar enfermedades como la gota y el dolor de la cabeza (Poveda Ramos, 2003).

Estas observaciones comienzan a salir a la sociedad en el siglo XIX a través del desarrollo de la teoría que unificó la electricidad con el magnetismo, generando manifestaciones de un mismo fenómeno y permitiendo la formulación de las ecuaciones de Maxwell. El movimiento de una carga eléctrica produce un campo magnético que, a su vez, a través de variaciones, genera un campo eléctrico, que al estar en movimiento acelerado produce ondas electromagnéticas. La electricidad es originada por cargas eléctricas en reposo o movimiento y a interacción entre ellas; cuando estas cargas se encuentran en movimiento, se ejercen las fuerzas magnéticas (Young & Sears, 2009).



**Figura 1.** Cargas Eléctricas

**Fuente:** (Electromagnetismo, 2002)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Desde el punto de vista científico, la electricidad se define como el conjunto de fenómenos físicos, relacionados con la presencia de cargas eléctricas, particularmente de los electrones y su comportamiento en condiciones de reposo, movimiento y correlación con el magnetismo. La electricidad como fenómeno físico, es junto con el magnetismo y la gravedad, una de las fuerzas básicas de la naturaleza y una de las propiedades fundamentales de la materia.

Su producción se basa en el hecho que, al mover un conductor en presencia de un imán, el conductor produce un movimiento ordenado de electrones, y en consecuencia a ello, se generan las fuerzas de atracción y repulsión originadas por el campo magnético, lo cual se convierte en energía eléctrica; esta se produce al interior de materiales conductores, tales como la materia, pequeños átomos minúsculos, cuyas cargas positivas y negativas se atraen y se crea la electricidad.

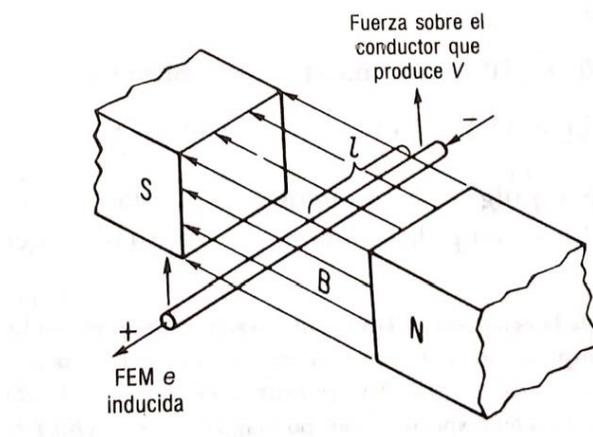
La primera aplicación práctica de la electricidad fue el telégrafo eléctrico de Samuel Morse (1833), que revolucionó las telecomunicaciones. La generación masiva de electricidad comenzó cuando, a fines del siglo XIX, se extendió la iluminación eléctrica de las calles y las casas. La creciente sucesión de aplicaciones que esta disponibilidad produjo, hizo de la electricidad una de las principales fuerzas motrices de la segunda revolución industrial. Más que de grandes teóricos, como Lord Kelvin, fue éste el momento de grandes inventores como Gramme, Westinghouse, von Siemens y Alexander Graham Bell. Entre ellos destacaron Nikola Tesla y Thomas Alva Edison, cuya revolucionaria manera de entender la relación entre investigación y mercado capitalista convirtió la innovación tecnológica en una actividad industrial. Tesla, un inventor serbio-americano, descubrió el principio del campo magnético rotatorio en 1882, que es la base de la maquinaria de corriente alterna. También inventó el sistema de motores y generadores de corriente alterna polifásica que da energía a la sociedad moderna (Cortes, 2014).

La utilización de la energía eléctrica a nivel industrial, se compone de dos eslabones fundamentales que forma un sistema: generación y, transmisión y distribución.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 2.1.1 Generación de Energía Eléctrica.

La generación de energía eléctrica es el proceso de convertir esta energía de alguna forma ya sea química, térmica, nuclear, solar, entre otras, en energía eléctrica mediante un proceso que se conoce como conversión de energía electromagnética. La contribución de Michael Faraday en 1831 fue la generación de un voltaje debido al movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor de electricidad, (ver Figura 2) a esto lo denominó voltaje inducido porque solo se presentaba cuando había movimiento entre el conductor y un campo magnético sin contacto físico entre ellos (Kosow I. L., Máquinas Eléctricas y Transformadoras, 1993).



**Figura 2.** Conductor que se mueva a través de un campo magnético

**Fuente:** (Kosow I. , 1993)

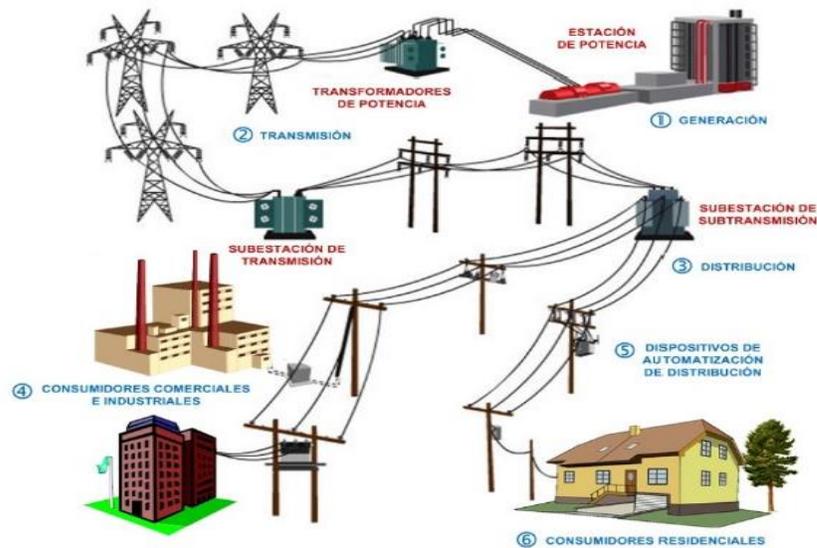
La generación es el proceso de convertir alguna clase de energía, ya sea química, térmica, nuclear, cinética o mecánica, en energía eléctrica; este proceso se llama conversión de energía electromagnética. La conversión ocurre a nivel industrial en las centrales eléctricas que llevan a cabo alguna de las transformaciones mencionadas y que su finalidad es hacer girar el eje de un generador para producir la energía eléctrica necesaria que posteriormente será utilizada en diferentes labores.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Cabe anotar que debe existir una gran responsabilidad ambiental ante esta clase de desarrollos energéticos, ya que pueden afectar en gran medida el equilibrio ecológico de los territorios explotados. Afortunadamente la tecnología ha venido desarrollando sistemas más eficientes y que no golpean tan fuertemente el medio ambiente, estos desarrollos se convierten en una buena alternativa para una generación eléctrica más ecológica y además crean una consciencia más responsable donde se debe dar importancia a todos los aspectos que rodean un proyecto energético.

### 2.1.2 Transmisión y distribución.

La transmisión de energía eléctrica es el transporte de la energía generada desde las centrales eléctricas hasta las subestaciones de transformación, a través de unas líneas o caminos de material conductor que por lo general es aluminio y otros elementos de soporte y que también son fundamentales como las torres y los elementos aislantes. En la Figura 3 se muestra una red eléctrica desde la generación hasta el final del ciclo que es el consumidor.



**Figura 3.** Red de suministro eléctrico

Fuente. Tama (2018).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para evitar las pérdidas de energía en lo posible, es necesario elevar el nivel de tensión, este proceso se efectúa en la estación elevadora de alta tensión. En muchos países estas líneas de transmisión están interconectadas (malla), de manera que, si ocurre algún percance en una línea, otra entra a reemplazarla y así se garantiza el suministro de energía eléctrica, además estas líneas se encuentran por seguridad en las afueras de los núcleos urbanos y su diseño está hecho para soportar tracciones causadas generalmente por fenómenos naturales como la velocidad del viento, la temperatura de las líneas conductoras, la temperatura del viento, entre otros.

En Colombia existe el Sistema Interconecta Nacional SIN, compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios, según lo previsto por el artículo 11 de la Ley 143 de 1994 (CREG, 1994).

Las redes del SIN son un conjunto de líneas y subestaciones con todos sus equipos asociados, que transportan la energía desde las plantas generadoras a las subestaciones de transformación y por último al consumidor final. El SNT es el sistema interconectado a nivel nacional que opera a tensiones iguales o superiores a 220kV y el STR es el sistema interconectado a nivel regional que operan a tensiones inferiores a 220kV (XM, 2019).

Los niveles de tensión de transmisión y distribución en Colombia se clasifican según el artículo 12 (RETIE 2013-2014) adoptado por la norma NTC 1340, de la siguiente manera:

- Extra Alta Tensión: Corresponde a tensiones superiores a 230 kV.
- Alta Tensión: Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.
- Media Tensión: Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.
- Baja Tensión: Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000V.
- Muy Baja Tensión: Tensiones menores de 25 V.

Las redes de distribución forman un papel muy importante de los sistemas de potencia porque toda la energía generada se tiene que distribuir entre los usuarios de una forma segura y efectiva, estas redes se encuentran dispersas por grandes territorios y por esta razón el sistema de distribución resulta ser más complejo que el sistema de potencia. El sistema eléctrico de potencia

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

(SEP) es el conjunto de centrales generadoras, líneas de transmisión y sistemas de distribución que trabajan como un todo (Juares, 1995).

La distribución de la energía eléctrica es la etapa final como parte del sistema eléctrico, en la cual se lleva la energía desde las subestaciones de las centrales eléctricas hasta los hogares, industrias, comercios y oficinas de los usuarios finales, mediante redes de distribución. La energía recorre grandes distancias en su red de transmisión y subtransmisión, y pasa por centros de transformación que pasan de la alta tensión a la baja tensión, para que pueda ser suministrada a los consumidores mediante una compleja y eficiente infraestructura (CREG, 2008).

## **2.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

En Colombia para el desarrollo de todo proyecto de instalaciones eléctricas (comercial, residencial, industrial) e iluminación (interior o exterior), se debe cumplir con las normas expedidas por el Ministerio de Minas y Energía: Norma Técnica Colombiana NTC 2050. También se encuentran los reglamentos: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).

El Ministerio de Minas y Energía en Colombia, es la entidad que expide o facilita a la NTC 2050 por medio del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) a todos los usuarios y operadores de instalaciones eléctricas teniendo en cuenta las normas de carácter legal y reglamentarías.

Para especificar el desarrollo de las características técnicas de las instalaciones eléctricas en luminarias, se tiene como referencia estos dos reglamentos, (RETIE y RETILAP) apoyados en la Norma Técnica Colombia NTC 5001 titulada calidad de la potencia eléctrica, límite y metodología de evaluación con punto de conexión común. En cuanto a la calidad de la potencia eléctrica, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), corresponde el Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional y define los criterios técnicos de calidad con que debe suministrarse los servicios de energía a los usuarios finales.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### **2.2.1 La norma técnica colombiana NTC 2050.**

El Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 es una norma acorde a la invención de tecnologías relacionadas con la eficiencia energética, las técnicas y materiales para implementar en las instalaciones eléctricas. Su objetivo es proteger a las personas y la vida animal de todas las instalaciones eléctricas. Salvaguardar las fuentes hídricas, fauna y flora así evitar su agotamiento, promoviendo la vigilancia y control de trabajos ejecutados o enfocado a clientes o usuarios en todos los niveles de las instalaciones eléctricas, estableciendo requisitos de calidad en normas técnicas colombianas o internacionales.

Dentro del Capítulo 1, Sección 110 se encuentran los requisitos de las instalaciones eléctricas, y en el capítulo 2, se encuentra el Alambrado y protección de las instalaciones eléctricas.

Para el año 2020 el ICONTEC emitió la actualización del Código Eléctrico NTC 2050, en donde se desarrolla un portafolio de servicios integrales que ayuden a las empresas a identificar los principales cambios para fortalecer los procesos de eficiencia energética.

### **2.2.2 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE**

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) es un documento técnico-legal que consta de 39 artículos, expedido para Colombia por el Ministerio de Minas y Energía en el cual se encuentran los parámetros que se deben tener en cuenta para diseños, construcción, mantenimiento o modificación de instalaciones eléctricas de la forma más segura y confiable (RETIE INGENIERÍA Y GESTIÓN, 2020).

Este reglamento pretende garantizar que las instalaciones eléctricas, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación y distribución y uso final de la energía eléctrica cumplan con los siguientes objetivos:

- La protección de la vida y la salud humana
- La protección de la vida animal y vegetal
- La preservación del medio ambiente

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario

Para el estudio de iluminación, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) enfatiza en el capítulo 2, artículo 17 que la iluminación de espacios tiene amplia relación con las instalaciones eléctricas, ya que la mayoría de las fuentes modernas de iluminación se basan en las propiedades de incandescencia y la luminiscencia de materiales sometidos al paso de corriente eléctrica (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

### **2.2.3 Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP.**

Este reglamento tiene por objeto establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendiente a garantizar: los niveles y calidad de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando los riesgos originados por la instalación y uso de sistemas de iluminación (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

En la Tabla 1, se establecen los capítulos, descripción y secciones más relevantes del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) para el diseño de sistema de iluminación interior para una nave industrial.

**Tabla 1.** *Requisitos para Lámparas y Luminarias*

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Sección</i>
2	Requisitos generales para un sistema de iluminación	200, 220, 230
3	Requisitos generales de los productos de iluminación o alumbrado público	300, 320

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4	Diseño y cálculo de de iluminación interior numeral 410.1- 420.1.1- 430.3- 450.3- 450.5- 490.1- 490.2	430, 490
---	--	----------

**Fuente:** elaboración propia

La norma especial de Alumbrado Público e Iluminación de EPM RA5-010 propia del grupo, pretende determinar los criterios técnicos para la conexión a tierra de la red de alumbrado público y elementos que la componen.

La norma para redes de distribución de EPM RA6-010 establece criterios aceptables para tal fin, de acuerdo a los requerimientos establecidos en el Artículo 15 del RETIE 2013.

### 2.3 ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO

En la antigüedad el hombre solo disponía de dos fuentes de luz: la luz natural del día y la que podía producir a través del fuego para iluminar en la oscuridad. Estas dos fuentes de iluminación han definido la evolución de fuentes alternativas e innovadoras, desde lo empírico hasta lo más moderno y tecnológico, buscando con esto facilitar la vida, el buen vivir y el desarrollo de la humanidad, pues sería impensable un mundo en tinieblas.

La iluminación es un tema extenso que se ha estudiado durante mucho tiempo, del cual podemos destacar, los efectos visuales negativos que acarrearán una mala iluminación o una selección inadecuada para un espacio de trabajo. La iluminación debe ser lo suficiente elevada como para garantizar un rendimiento visual para realizar una tarea específica, aunque el rendimiento visual no depende enteramente de la iluminación, también depende de las capacidades visuales. Aparte del efecto del rendimiento visual, la iluminación puede tener gran influencia sobre la atmósfera y la impresión visual del lugar de trabajo (Bommel & Beld, 2004).

El sentido de la visión funciona en las mejores condiciones cuando se encuentra dentro de un rango que va desde 200 lux y 10000 a 20000 lux, con factores medios de reflexión del 30 al 60 % y sin fuentes de deslumbramiento dentro del campo visual. Según se ha demostrado, la necesidad de luz

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

que necesita una persona aumenta con la edad debido a la disminución de su capacidad visual y cabe destacar que en la actividad laboral existen rangos que van desde los 18 a los 60 años o más. Es por esto que las personas con cierto rango de edad, necesitan más iluminación que un individuo más joven, la Tabla 2 muestra el nivel luminoso que se necesita para cierto rango de edades. Una de las razones para saber cuál luminaria es la más adecuada, es conocer los diferentes tipos que existen en el mercado y sus características (Caminos, 2011).

**Tabla 2.** Nivel luminoso Vs edad

EDAD (años)	NIVEL LUMINOSO (Lux)
10	175
40	500
60	2500

Fuente. (Caminos, 2011)

### 2.3.1 Tipos de iluminación

Existen dos tipos principales de iluminación: la iluminación la natural y la artificial, la primera que es producida por la radiación solar y solo se puede aprovechar hasta ciertas horas del día y depende en gran medida del clima para obtener el mayor rendimiento, mientras que la luz artificial es producida por medios eléctricos, químicos o electrónicos.

Con la luz artificial podemos decidir y controlar los valores máximos, medios y mínimos de diferentes parámetros lumínicos como iluminancia (E), luminancia (L), temperatura de color (K), calidad de reproducción cromática (IRC), flujo ( $\phi$ ), intensidad (I), dirección del ángulo de concentración de la emisión ( $\alpha$ ), (Caveda, 2013).

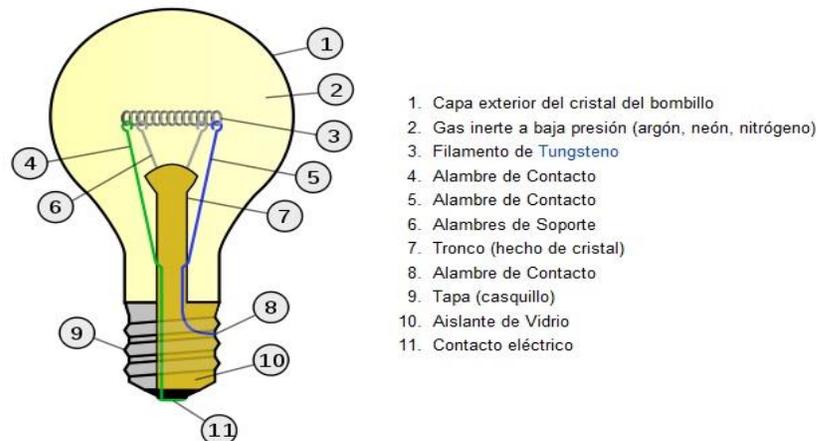
Para el caso de estudio, solo se menciona la iluminación artificial que es la más utilizada para el hogar, fuentes de trabajo y a nivel industrial donde las podemos conseguir en bombillas incandescentes y halógenas, leds y fluorescentes.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 2.3.1.1 Lámparas incandescentes.

El principio de funcionamiento es la circulación de una corriente a través de un filamento metálico dentro de una atmosfera y que lo llevan a la incandescencia provocando una fuente luminosa. Existen diferentes bombillas de este tipo ente las que podemos mencionar:

- Filamento construido por tungsteno
- Filamento construido por tungsteno en atmosfera gaseosa
- Esterilización del filamento y doble esterilización
- Con gas halógeno en la ampolla



**Figura 4.** Partes de una bombilla incandescente

**Fuente.** (Comité Español de Iluminación, 2010)

### 2.3.1.2 Lámparas incandescentes halógenas.

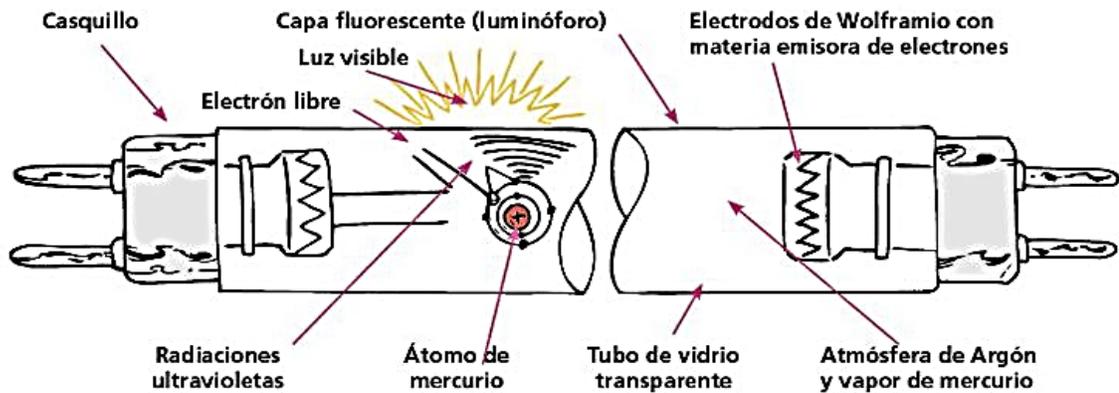
Es una variación de la bombilla incandescente, para evitar el debilitamiento del filamento de tungsteno debido a las altas temperaturas las lámparas halógenas en su atmosfera interior cuentan además de los gases de argón y nitrógeno, sustancias halógenas como el cloro, bromo,

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

flúor e iodo. El halógeno produce una combinación entre el tungsteno evaporado formando un compuesto volátil que se difunde por la atmósfera de la lámpara (Caminos, 2011).

### 2.3.1.3 Tubos fluorescentes.

Esta lámpara es también conocida como lámpara de descarga en vapor de mercurio a baja presión. Como la presión en su interior es baja entonces las paredes de vidrio son delgadas haciéndolas ligeras y frágiles. La corriente eléctrica que pasa a través del gas, libera una cantidad de energía ultravioleta, el revestimiento interno es de polvos fluorescentes que transforman parte de la energía ultravioleta en energía visible de diferentes tonalidades esto dependiendo de los polvos utilizados. Este tipo de lámparas necesitan para su funcionamiento equipos auxiliares como balastos y arrancadores, además los tubos en sus extremos cuentan con cátodos que son emisores de electrones y el arco eléctrico entre estos se dan gracias a cierta cantidad de argón a baja presión.



**Figura 5.** Partes de una lámpara fluorescente

**Fuente:** (abc, 2013)

Estas tecnologías de lámparas fluorescentes anteriormente no eran consideradas como material peligroso, pero en 1990 la Agencia de Protección Ambiental (EPA), agencia federal e independiente de los EE UU, emitió la ley de conservación y recuperación de recursos identificando a las lámparas fluorescentes caducadas como desechos peligrosos por su contenido

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de mercurio y otros elementos de igual naturaleza; recomendando se realicen manejos estrictos para su tratamiento y disposición final (López et al., 2018).

Un grupo de investigadores cuyo objetivo es el estudio de las tecnologías para la recuperación, reúso, reciclaje y disposición final de lámparas y bombillos desgastados encuentra mediante el análisis de publicaciones científicas y patentes, diferentes tecnologías para el tratamiento de estos materiales de desecho, como son:

- Técnica de destilación y extracción de mercurio
- Técnica de solidificación/estabilización
- Recuperación del mercurio mediante técnicas Físico-químicas.

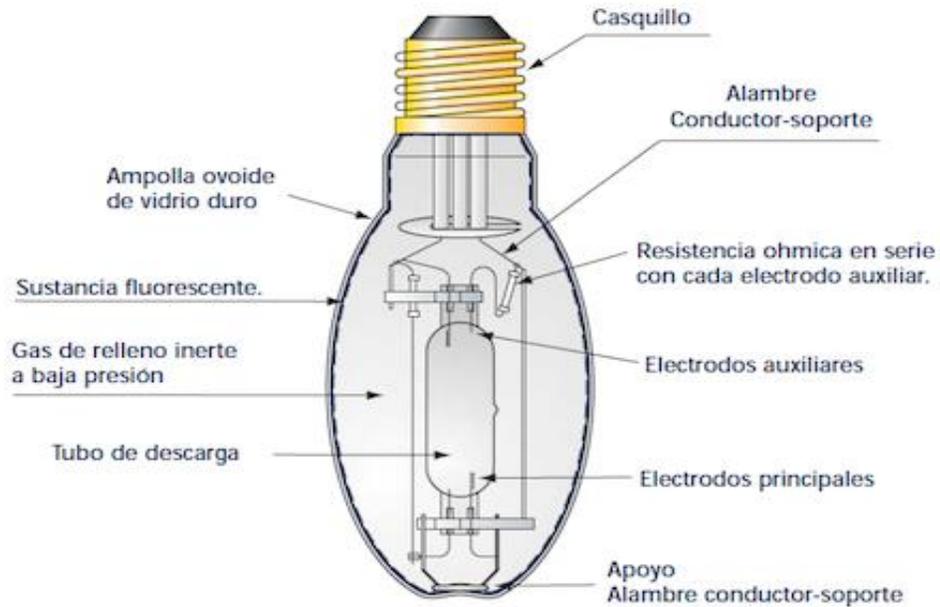
#### ***2.3.1.4 Lámparas de vapor de mercurio.***

Este tipo de lámparas consta de un tubo de cuarzo donde se producen altas presiones, altas temperaturas, y la descarga eléctrica. Este tubo contiene gas en pequeñas cantidades de mercurio y gas inerte (argón o neón) que ayuda a generar la descarga, además cuenta con dos electrodos de wolframio o tungsteno que facilitan la emisión de electrones y otros componentes (ver Figura 6) que permiten el correcto funcionamiento.

Una vez que se enciende eléctricamente la lámpara se comienza a incrementar la presión e inicia la evaporación del mercurio, hasta alcanzar el valor final del flujo luminoso y los valores eléctricos nominales. Este proceso se alcanza al cabo de unos minutos.

Cuando se corta la energía se debe esperar unos minutos para poder reiniciarse, ya que la presión interna es muy alta y el voltaje de red no es lo suficientemente alto para lograr el reencendido de la lámpara.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



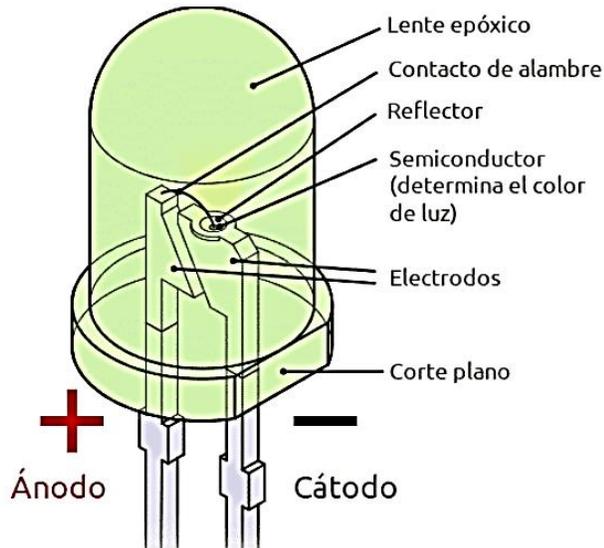
**Figura 6.** Partes de una lámpara de vapor de mercurio

**Fuente.** (grlum, 2014)

### 2.3.1.5 Iluminación LED.

Antes de hablar de la iluminación led, es pertinente hablar de este componente electrónico y como funciona. Por sus siglas en ingles *light-emitting diode* (diodo emisor de luz) es un material semiconductor de unión PN que tiene dos terminales (ánodo y cátodo) que permiten el flujo de corriente eléctrica en un solo sentido y que se comporta como un interruptor abierto o cerrado dependiendo de la polaridad de la corriente y cuando este se enciende se dice que esta polarizado directamente, este diodo se compone de varias partes internas y dos terminales externas que facilitan su conexión (ver Figura 7).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



**Figura 7.** *Partes de un Diodo led*

**Fuente:** (Academia, 2016)

Desde la aparición de los diodos LEDs en los años 60 hasta los años 90s donde se desarrollaron varios colores como el rojo, verdes, azul, pero solo se podían usar como señalización por su baja luminosidad, pero gracias a los avances de la electrónica a finales de los 90s, se desarrollan los LEDs para ser utilizados en iluminación. Actualmente se han creado los LEDs de alta luminosidad que han reemplazado las luminarias tradicionales debido a su capacidad alta eficiencia.

### **2.3.1.6 Luxómetro.**

El Luxómetro es un instrumento de medición con el que se puede obtener de manera precisa los niveles de iluminación de un lugar determinado. Este instrumento cuenta con una célula fotoeléctrica que absorbe la luz, para luego convertirla en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representados en una aguja con la adecuada escala de luces.

- Lo primero que se debe hacer es colocar el fotorreceptor, que es el **encargado de absorber la luz**, frente a la fuente de luz que se desea medir.
- Luego en el lector del luxómetro se debe colocar la escala apropiada, dependiendo de qué tan fuerte o débil sea la luz que se quiere medir.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Una vez que ya se ha realizado ese paso, se procede a presionar el botón de encendido del lector y esperar hasta que la lectura aparezca, para esto deben pasar unos segundos.
- Después de que aparezca la lectura, el resultado se va a multiplicar por el número de la escala que se seleccionó. Por ejemplo, si se elige una escala de 200 lux y la medida fue de 30, el valor es de  $30 \times 200 = 6000$ .



**Figura 8.** *Luxómetro*

**Fuente:** (Stereon, 2020)

## 2.4 CONCEPTO DE INVERSIÓN

Se puede definir como un plan o una actividad a la que se asigna un determinado monto de capital o recursos, con el fin de obtener una utilidad, un bien o beneficio económico. Es cualquier gasto generado para el mantenimiento de la empresa, como compra de bienes, renovación o mejoramiento de equipos que producen una renta económica, con el fin de obtener un beneficio o rendimiento de ello. Existen diferentes tipos de inversiones como son: Títulos propiedad, inversión directa o indirecta, deuda, patrimonio neto o derivados financieros, bajo o alto riesgo, corto o largo plazo. Cuando se efectúa una inversión asumimos un coste de oportunidad (conjunto de recursos que dejamos de percibir cuando nos decidimos por otra alternativa que puede ser mejor o peor) al

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

invertir esos recursos en el presente para lograr un beneficio en el futuro, pero cabe anotar que el futuro es incierto y que toda inversión no es 100% segura.

Una de las grandes preguntas es ¿por qué se debe invertir? El crecimiento de una empresa, e incluso su capacidad para mantener su competitividad y sobrevivir, depende de un flujo constante de ideas que estimule el desarrollo de nuevos productos, la forma para mejorar los ya existentes y las técnicas para producirlos a un costo más bajo (Morales, 2009).

Para el análisis de la inversión en el presente proyecto, se utilizan las herramientas o los parámetros más usados a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto de inversión como son: **VAN** (valor actual neto), y el **TIR** (tasa interna de retorno). Se debe tener en cuenta que estos parámetros no siempre coinciden, tienen ciertas limitaciones y los resultados que arrojan son inestables en algunos casos. A continuación se muestran las fórmulas matemáticas con las que se calcula cada uno de los métodos.

$$VAN = \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n} - I \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde,

BN<sub>i</sub>: beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo i

I: inversión inicial

i: tasa de descuento (costo de oportunidad del capital)

**TIR** = es aquella tasa de descuento que hace el VAN igual a cero. En términos matemáticos:

$$VAN = \frac{BN_1}{(1+TIR)^1} + \frac{BN_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+TIR)^n} - I = 0 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Por lo tanto

$$\frac{BN_1}{(1+TIR)^1} + \frac{BN_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+TIR)^n} = I$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El VAN esta herramienta se conoce como la diferencia entre el dinero que ingresa a la empresa y la cantidad que se invierte en un mismo producto para ver si en realidad es un producto o proyecto que puede representar ganancias.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3 METODOLOGÍA

---

La metodología utilizada para este proyecto consta de varias etapas, las cuales fueron cruciales para el desarrollo del proyecto teniendo como base la investigación que estuvo apoyada en material bibliográfico como: libros, revistas de internet, información técnica y normativa a nivel nacional.

El desarrollo del primer objetivo específico no se pudo llevar a cabo, debido a que la herramienta o equipo para hacer la respectiva medición (Analizador de Redes) no fue posible conseguirla, ya que el Instituto Tecnológico Metropolitano solo lo tiene para labores pedagógicas al interior de la institución y obtenerlo de forma particular en alquiler es muy costoso, en consecuencia, se desiste de este método.

Para desarrollar este objetivo se hace necesario optar por otro método como el de la potencia instalada, de esta forma se puede conocer el consumo real de energía eléctrica de todas las luminarias que se utilizan en la nave industrial.

Como segunda etapa se utiliza el método de los lúmenes para calcular el dimensionamiento, cantidad y tipo de luminarias necesarias para iluminarla nave industrial. Para medir el nivel de iluminación de la nave industrial, se toman mediciones con un luxómetro marca UNI-T referencia UT383 en cada máquina (ver Tabla 3.) donde los operarios normalmente desempeñan sus labores, a una altura de 0,85 metros que es el plano de trabajo tomando como base el piso según lo establecido en el capítulo 4 sección 420.1.1 (RETILAP). En cada sección o puesto de trabajo, se toman tres medidas (lm), de estas tres medidas se saca un promedio para obtener una medida más precisa. Esta medición se hace en horas de la noche (7:00 y 8:00 pm) en el horario laboral 2:00 a 10:00 pm, donde se presenta mayor déficit de iluminación.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 3.** *Iluminación en el puesto de trabajo*

<b>Puesto de trabajo</b>	<b>Cantidad (Lux)</b>
DEVANADOR SCHUMAG I	55
SCHUMAG I	74,33
SECCIÓN DE SOLDADURA TREFILADORA	40,66
DEVANADOR SCHUMAG II	49,33
COCHES DE TIRO SCHUMAG II	93
FORMADORA DE TUBOS	150

**Fuente:** *elaboración propia*

El RETILAP en el capítulo 4, Tabla 410.1 establece los tipos de recintos, actividades y los niveles de iluminación (puestos de trabajo permanente en plantas de producción).

- Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR): 25 Lux
- Mínimo: 200 Lux
- Medio: 300 Lux
- Máximo: 500 Lux

De esta forma se demuestra que los niveles de iluminación son bajos, respecto de los establecidos en la normativa.

En la tercera etapa tres la comparación de costos entre los dos sistemas (luminarias Metal Halide y luminarias LED) inicialmente se basa en el consumo de energía eléctrica y de esta forma se puede deducir que las luminarias LED tiene un mejor rendimiento costo beneficio. Los cálculos utilizados para dicho análisis se hacen en los numéales posteriores.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para la elaboración del diagrama unifilar y los planos de distribución eléctrica fue necesario recopilar información de la planta física como la altura, dimensiones del área y las rutas más convenientes para optimizar y economizar materiales, estos planos se elaboran con el software AUTOCAD 2018 y se pueden ver en el numeral 3.4.1.7.3.

En la última etapa se hace una comparación técnica y económica para establecer cuál de las dos tecnologías es la que proporciona mejores beneficios. Inicialmente se hace una comparación de consumo energético (lm/W), luego se estudia la vida útil, posteriormente se selecciona el tipo de luminaria y por último se calcula el costo de implementación del sistema y el tiempo de recuperación de la inversión.

El resultado de este proyecto es el mejoramiento de la eficiencia eléctrica del sistema de iluminación de Centroaceros S.A.S., mediante la evaluación pre al diseño, el tipo de luminaria a utilizar, los cálculos de los costos en que la empresa incurre con el cambio de luminarias y la factibilidad económica. Todo ello, contemplado dentro de los objetivos de la presente investigación y las fases que contempla el diseño metodológico

En los siguientes numerales se desglosa uno a uno los pasos (cálculos) necesarios para establecer la factibilidad del proyecto.

### **3.1 Consumo de energía eléctrica actualmente de las luminarias en la nave.**

Es importante conocer la cantidad de energía que se consume actualmente por cada lámpara en un turno laboral de 8 horas y de esta forma establecer el consumo real de todas las luminarias para hacer una comparación con el nuevo sistema de iluminación que se pretende calcular. El consumo por luminaria es 3.2 kWh, este consumo es importante tenerlo en cuenta para un posterior análisis.

Para hacer una comparación del consumo de energía eléctrica respecto de dos sistemas de iluminación, se hace necesario tener como referencia la instalación que existe actualmente, la cual está compuesta de 23 luminarias tipo campana de 400W-Metal Halide, 220 Voltios, 60Hz

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.1.1 Cálculo de la potencia instalada (kW)

Corresponde a la suma aritmética (Ecuación 3)) de la potencia de todos los equipos que existen en el interior de una instalación que en este caso son las luminarias con sus respectivas características (ver Figura 9).



**Figura 9.** Reflector Aluminio C/Equipo 400W-M.H.-220V-19 pulgadas

**Fuente:** SYLVANIA (2016).

$$P_{instalada} = P_{a\ regimen} \times N_{lámparas} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$P_{instalada} = 400W \times 23lámparas$$

$$P_{instalada} = 9,2kW$$

$$Factor\ Potencia = \frac{P_{activa}}{P_{aparente}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$P_{aparente\ (S)} = \frac{P_{activa}}{FP} \quad \text{Ecuación (5)}$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El Factor de Potencia para luminarias incandescentes es igual a 1, mientras que el de las luminarias Metal Halide es igual o superior a 0.9, esto debido a que toda luminaria que utilice un balasto reactor para su funcionamiento, debe adicionar un capacitor, cuya función es corregir el factor de potencia al 90% como mínimo ya que el balasto es altamente reactivo (ENEL-CODENSA, 2012).

Para el posterior cálculo se toma como referencia  $FP = 0,95$  para sistemas de iluminación no incandescentes.

$$P_{aparente (S)} = \frac{9,2kW}{0,95}$$

$$P_{aparente (S)} = 9684, 21 VA$$

### 3.1.2 Cálculo del consumo de energía (luminaria Metal Halide-400W)

El medidor de energía eléctrica registra el consumo durante un mes para posteriormente emitir la factura de cobro, este consumo es expresado en kilovatios-hora (kWh). Para calcular el consumo mensual del sistema de iluminación se multiplica la potencia total de las luminarias (Watt W) por el número de horas en el mes.

$$\text{Consumo}_{\text{mensual}} = \text{Potencia(W)} * \text{horas día} * \text{días al mes} \quad \text{Ecuación(6)}$$

$$\text{Consumo}_{\text{mensual}} = 9,2kW * 8 \text{ horas} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Consumo}_{\text{mensual}} = 2208 \text{ kWh/mes}$$

Este valor corresponde al consumo de energía en un turno de 8 horas durante un mes

### 3.1.3 Características de luminaria Metal Halide tipo campana de 400W

Este tipo de luminaria está diseñada para la iluminación interior de la industria y el comercio e instalaciones deportivas bajo techo. Cuenta con un cuerpo de aluminio fundido, cierre

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

hermético para proteger los componentes eléctricos en su interior y la campana está fabricada de aluminio puro.

### **3.1.3.1 Datos del balasto reactor**

Los datos que se presentan a continuación, pertenecen a las luminarias que están instaladas actualmente en la nave industrial de Centroaceros S.A.S.

- Marca: Electrocontrol
- Reactor para luz de sodio o metal Halide
- Potencia: 400W
- Voltaje 208/220 V
- Corriente: 2.12/2.0 Amperios
- Voltaje de bombilla 125 V
- Corriente de bombilla: 3.25 A
- Temperatura máxima(TW) 130 grados Celsius
- Frecuencia 60 Hz
- Condensador 25 microfaradios  $\geq$  250 Voltios (para corregir el factor de potencia)

### **3.1.3.2 Datos del tipo de bombilla**

- Bombilla Sylvania MH
- Modelo: MH400/133/CL/U/ED37/e40
- Tipo: luminaria interior
- Fuente de luz: HID
- Potencia: 400W
- Voltaje: 133 Voltios
- Flujo luminoso: 40000 lm
- Temperatura de color: 4000k
- IRC: 60
- Eficacia: 100Lm/W
- Vida útil: 20000 horas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Tipo de base: E40
- Acabado: claro
- Tipo de bulbo: ED. 37

### 3.2 Consumo de energía eléctrica en la nave con luminarias tipo LED

Con la potencia que equivale a 250 W y un turno laboral de 8 horas se obtiene un consumo de 2 kWh, el cálculo real del número de luminarias necesarias para obtener una iluminación más eficiente se hará más adelante.

#### 3.2.1 Cálculo de la potencia instalada (W)

Para este caso se toma como referencia una campana LED industrial de 250 W, 220 Vac, este tipo de luminaria es seleccionada porque posee alta eficiencia eléctrica, tiene un ciclo de vida útil más extendido, no produce tanto calor como las convencionales, el tiempo de encendido es mínimo, utiliza diferentes colores y temperaturas, además es ecológica porque no utiliza vapores de mercurio y otro gas que contaminan el medio ambiente. Este tipo de luminaria es utilizada a nivel industrial y comercial y trae un ángulo de apertura de 90°, además produce una eficacia lumínica de 110-115 Lm/W y cuenta con una eficiencia superior al 87%. Para el cálculo de este valor se utiliza la ecuación 3.

$$P_{instalada} = P_{a\ regimen} \times N_{lámparas}$$

$$P_{instalada} = 250W \times 23lámparas$$

$$P_{instalada} = 5,75kW$$

El Factor de Potencia para luminarias incandescentes es igual a 1, mientras que el de las luminarias tipo LED poseen un factor de potencia mayor 0,9 (LEDBOX, 2021). Para el posterior cálculo se toma como referencia FP = 0,95 y el cálculo se realiza con la ecuación 5.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$P_{aparente (S)} = \frac{P_{activa}}{FP}$$

$$P_{aparente (S)} = \frac{5,75kW}{0,95}$$

$$P_{aparente (S)} = \mathbf{6052,63 VA}$$

### 3.2.2 Cálculo del consumo de energía (luminaria LED-250 W)

En comparación con las luminarias Metal Halide, la eficacia de la lámpara LED es más alta 10-15 Lm más por vatio, flujo luminoso de 30 000 Lm y contienen una fuente de alimentación de corriente continua (driver) con un ancho de tensión de AC85V-265V. El cálculo del consumo mensual se realiza con la ecuación 6.

$$Consumo_{mensual} = Potencia(W) * horas\ día * días\ al\ mes$$

$$Consumo_{mensual} = 5,75kW * 8horas * 30días$$

$$Consumo_{mes} = \mathbf{1380kWh/mes}$$

### 3.2.3 Característica de luminaria LED tipo campana de 250W

- Eficacia lumínica: 110-115 Lm /W
- Índice de deslumbramiento unificado UGR:  $\leq 19$
- Angulo de apertura: Incluye reflector de aluminio de 90°. Posibilidad de selección entre otros reflectores de 45°, 60° y 120°
- Eficiencia:  $>87\%$
- Iluminación uniforme:  $>0.5$
- Índice de rendimiento de color:  $Ra > 75$
- Distribución de la luz: simétrico / rounde
- Diseño de la luminaria: LED + difusor

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Temperatura de la unión LED:  $\leq 80^{\circ}$
- Temperatura de trabajo:  $-40^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}$
- Temperatura de almacenaje:  $-25^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}$
- Protección IP: IP65
- Vida útil: 50000 Horas
- Certificado: CE

### **3.3 Dimensionamiento de las luminarias**

Para el diseño y dimensionamiento de la iluminación de interiores, se hace necesario tener en cuenta diferentes factores como el lugar o área a iluminar, la altura de la planta, si es comercial o industrial (actividad) y aspectos estéticos como la indica el RETILAP en el capítulo 4 sección 410 (REQUISITOS GENERALES DEL DISEÑO DE ALUMBRADO INTERIOR). Para el presente trabajo se toman en cuenta para el diseño dos tipos de luminarias: Campana Metal Halide -400 W es la que está instalada actualmente en la nave industrial y la Campana tipo LED de 250 W que se toma como referencia por ser más eficiente.

#### **3.3.1 Cálculo de la iluminación por el método de los lúmenes para luminarias tipo Campana Metal Halide-400 W**

Este método también se conoce como Sistema General o Método del Factor de Utilización. Este método es muy utilizado cuando no se necesita una precisión muy alta y sirve para conocer el número de luminarias necesarias con las cuales se desea iluminar un local de forma uniforme y además con este método se puede evaluar el nivel de iluminancia.

##### **3.3.1.1 Determinación de la altura de las luminarias**

Para determinar la altura de las luminarias, se utiliza en este caso el nivel óptimo para locales con iluminación directa, semidirecta y difusa como lo indica la fórmula (ver Tabla 4). La altura  $h$  (ver figura 10) es la distancia que hay entre el plano de trabajo y el plano de las luminarias (Castilla C, 2011).

**Tabla 4.** *Altura de las luminarias en suspensión*

Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3}(h' - h)$	Óptimo: $h = \frac{4}{5}(h' - h)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{5}(h' - h)$	$d' \approx \frac{1}{5}(h' - h)$

Fuente. (Tipos de iluminación, sus estilos y clasificación, 2021)

$$h = \frac{4}{5}(h' - h) \quad \text{Ecuación (7)}$$

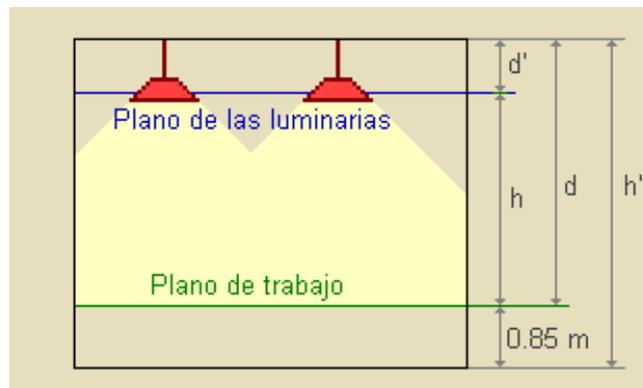
Donde,

$h$  = altura entre el plano de trabajo y el plano de trabajo de las luminarias

$h'$  = altura del local

$d$  = altura del plano de trabajo al techo

$d'$  = altura entre el plano de las luminarias y el techo



**Figura 10.** *Altura para luminarias en suspensión*

Fuente. (Citcea, 2020)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Dimensiones reales de la nave (planta)

Largo: 90m

Ancho: 20m

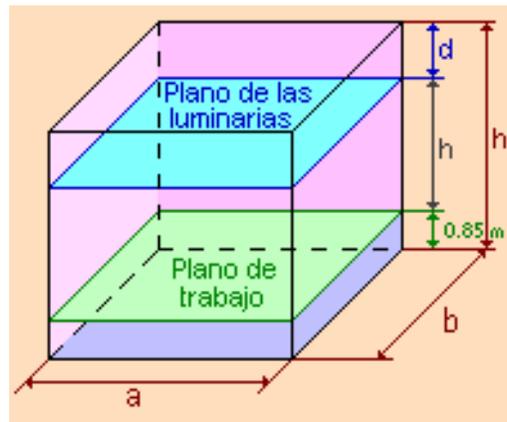
Alto: 8,5m

$$h = \frac{4}{5} (8,5 - 0,85)$$

$$h = 6,12m$$

### 3.3.1.2 Cálculo del índice del local (K).

Para obtener este cálculo es necesario tomar en cuenta las dimensiones del lugar como el área que se va iluminar, la altura que hay entre el plano de trabajo y la altura del plano de las luminarias, (ver Figura 11).



**Figura 11.** Dimensiones para determinar el índice del local

Fuente. (Citcea, 2020)

**Tabla 5.** Índice de local

Sistema de iluminación	Índice de iluminación (k)
directa, semi – directa, directa – indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

indirecta y semi – indirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2(h + 0,85)(a + b)}$
------------------------------	--

*Fuente:* elaboración propia

$$k = \frac{a \cdot b}{h(a + b)} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$k = \frac{(20m)(90m)}{6,12m(20m + 90m)}$$

$$k = 2,67$$

### 3.3.1.3 Determinación del factor de utilización (Cu)

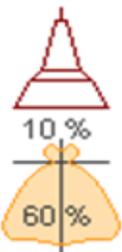
El coeficiente de utilización de la instalación también se conoce como factor reducido de utilización y es la relación entre el flujo luminoso que cae en el plano de trabajo y el flujo luminoso suministrado por la luminaria. Este coeficiente representa la cantidad de flujo luminoso efectivamente aprovechado en el plano de trabajo después de interactuar con las luminarias y las superficies dentro de un local.

El valor del coeficiente de utilización depende de la distribución fotométrica de la luminaria y de las dimensiones y características de reflectancia del local.

Como se puede observar, el índice de local no puede ser leído directamente por lo tanto se debe interpolar entre los valores señalados (ver Tabla 6).

Partiendo de que la instalación de la nave no es nueva y existen factores como la pintura de las paredes, el piso y los techos que tienen cierto grado de contaminación por suciedad y polvo, entonces se toma como recomendación el caso donde no concuerden los valores de reflexión en tablas. Si falta algún coeficiente, en su defecto se puede tomar: 0.5 para el techo para las paredes, 0.3 para el suelo, 0.1 (Castilla C, 2011).

**Tabla 6.** Factor de Utilización Lámpara MH

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)														
		Factor de reflexión del techo														
		0.8			0.7			0.5			0.3			0		
		Factor de reflexión de las paredes														
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0			
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30			
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37			
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41			
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45			
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48			
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52			
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54			
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56				
D <sub>max</sub> = 1.0 H <sub>m</sub>		4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58		
f <sub>m</sub>   .70   .75   .80		5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59		

H<sub>m</sub>: altura luminaria-plano de trabajo

Fuente. (Citcea, 2020)

- Índice de local (K): 2,67
- Coeficientes de reflexión:
- Techo: 0,5
- Pared: 0,3
- Piso: 0,1

$$CU = \frac{0,61 + 0,63 + 0,60 + 0,61}{4} = \mathbf{0,612\%}$$

Ecuación (9)

### 3.3.1.4 Factor de Mantenimiento

Es la relación de la iluminación promedio en el plano de trabajo después de un periodo determinado de uso de una instalación y la iluminación promedio obtenida al empezar a funcionar la misma como nueva (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para este caso se toma los valores del factor de mantenimiento bueno (ver Tabla 7) esto con el fin de que los niveles de iluminancia (300 Lux) correspondan con el tipo de recinto para el cual se está diseñando (puesto de trabajo permanentes en plantas de producción).

**Tabla 7.** *Valores Típicos de Factor de Mantenimiento*

Factor de mantenimiento bueno	Ambiente limpio con mantenimiento frecuente y reposición frecuente de lámparas.	0,7-0,8
Factor de mantenimiento regular	Ambiente con poca contaminación.	0,65-0,7
Factor de mantenimiento malo	Ambiente contaminado con poca reposición	0,6-0,65

*Fuente:* (Dávila Vásquez, 2013)

### 3.3.1.5 Niveles de Iluminancia

El valor medio de iluminancia que relaciona la Tabla 410.1 del RETILAP es el que se debe tener en cuenta como el objetivo de diseño y este debe de ser el valor de referencia al finalizar el proyecto. El tipo de recinto y actividad corresponde al señalado en la Tabla 8, donde la nave industrial está destinada para el procesamiento del acero.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 8.** Índice UGR Máximo y niveles de Iluminancia Exigibles para Diferentes Áreas y Actividades

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
<b>Trabajo en hierro y acero</b>				
Plantas de producción que no requieren intervención manual	-	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	250
<b>Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción</b>	<b>25</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>500</b>
Plataformas de control e inspección	22	300	500	750

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

### 3.3.1.6 Determinación del flujo luminoso total ( $\Phi T$ )

El flujo luminoso es la cantidad de brillo emitida por una fuente de luz y su unidad de medida es el Lumen (Lm). La ecuación 9, se utiliza para calcular el flujo total, a partir de algunos datos establecidos previamente donde se relaciona la iluminancia media, la superficie de trabajo a iluminar, factor de utilización y el factor de mantenimiento.

$$\Phi T = \frac{E * S}{cu * fm} \quad \text{Ecuación (10)}$$

- $\Phi T$ : flujo luminoso total (Lm)
- $E$ : iluminancia media deseada (Lx)
- $S$ : superficie de trabajo ( $m^2$ )
- $cu$ : factor de utilización
- $fm$ : factor de mantenimiento

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$\Phi_T = \frac{300Lx * (20 * 90)m^2}{0,612 * 0,8}$$

$$\Phi_T = \mathbf{1102941,17Lm}$$

### 3.3.1.7 Determinación del número mínimo de luminarias (N)

Para el cálculo del número de luminarias se deben relacionar en la ecuación 10 las siguientes variables: flujo luminoso total que se calculó anteriormente, número de lámparas por luminarias y flujo luminoso de una lámpara.

$$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad \text{Ecuación (11)}$$

- N: número de luminarias
- $\Phi_T$ : flujo luminoso total (Lm)
- n: número de luminaria por lámparas
- $\Phi_L$ : flujo luminoso de una lámpara (Lm)

$$N = \frac{1102941,17Lm}{(1 * 40000)Lm}$$

$$N = 27,5735 \text{ luminarias}$$

$$N \approx \mathbf{28 \text{ luminarias}}$$

En este primer cálculo se obtuvo un resultado de 28 iluminarias en la nave industrial.

### 3.3.1.8 Distribución de las luminarias en la nave

Posteriormente al cálculo del número de luminarias en la nave industrial, se procede al cálculo para distribuir todas las luminarias. Dependiendo de la geometría del área a iluminar estas se distribuyen de una forma uniforme (filas y columnas), para esto se utilizan las ecuaciones 12 y 13 respectivamente. En la Tabla 9 se puede observar el número de luminarias y las diferentes separaciones.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- **Número de luminarias a lo ancho**

$$N \text{ ancho} = \sqrt{N \text{ total} \left( \frac{\text{ancho}}{\text{largo}} \right)} \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$N \text{ ancho} = 2,494 \text{ luminarias}$$

- **Número de luminarias a lo largo**

$$N \text{ largo} = N \text{ ancho} \left( \frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right) \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$N \text{ largo} = 2,494 \left( \frac{90}{20} \right)$$

$$N \text{ largo} = 11 \text{ luminarias}$$

**Tabla 9.** *Distribución de las Luminarias en la Nave Industrial*

<b>Distribución de luminaria a lo ancho</b>	<b>Cantidad</b>
Número de luminarias	2
Separación entre luminarias	10m
Separación entre luminarias y pared	5m
<b>Distribución de luminaria a lo ancho</b>	<b>Cantidad</b>
Número de luminarias	11
Separación entre luminarias	7,36m
Separación entre luminarias y pared	4,5m
<b>Total luminarias</b>	<b>22</b>

*Fuente: elaboración propia*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.3.1.9 Comprobación del resultado

Esta comprobación es necesaria para saber si niveles de iluminancia que se seleccionaron en la Tabla 7, concuerdan con los calculados encontrados con la ecuación 14.

$$E = \frac{N \cdot n \cdot \Phi L \cdot cu \cdot fm}{S} \geq E_{tablas} \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$E = \frac{(28 * 1 * 40000 * 0,612 * 0,8)lm}{(90 * 20)m^2} \geq 300lux$$

$$E = 304,64 \geq 300lux \quad (\text{Se comprueba el resultado})$$

### 3.3.1.10 Valor de la eficiencia energética de la instalación VEEI (lámpara Metal Halide)

Este valor se calcula según como se indica en la sección 440, artículo 440.1 del RETILAP cuyo valor está dado en  $W/m^2$  por cada 100 luxes mediante la ecuación 15.

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_{promedio}} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:

- **P** Potencia total instalada en las bombillas más los equipos auxiliares, incluyendo sus pérdidas [W]
- **S** Superficie iluminada [ $m^2$ ]
- **$E_{promedio}$**  Iluminancia promedio horizontal mantenida [lux]

$$VEEI = \frac{9200W * 100}{(90 * 20)m^2 * 304,64lux}$$

$$VEEI = 1.67W/m^2/100lux$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.3.2 Luminarias tipo Campana LED industrial 250 W

Este tipo de luminaria cuenta con gran eficiencia eléctrica y es utilizada para iluminación interior de naves industriales y recintos comerciales. Es utilizada por su gran capacidad de iluminación, bajo consumo, larga durabilidad y bajos costos de mantenimiento.

#### 3.3.2.1 Cálculo de la iluminación por el método de los lúmenes Campana LED 250 W

Para este cálculo se utiliza la misma metodología mencionada en el numeral 3.4.1 que sirve para los dos tipos de tecnologías (iluminación LED y Metal Halide).

#### 3.3.2.2 Determinación de la altura de las luminarias

En plantas con más de 7 metros de altura como es el caso en estudio, las fuentes de luz también deben colocarse a gran altura, con el fin de mantener las fuentes de luz fuera del campo de acción de las grúas o máquinas similares (Ministerio de Minas y Energía, 2010). Para este caso se utiliza la Ecuación 7.

Dimensiones reales de la nave (planta)

- Largo: 90m
- Ancho: 20m
- Alto: 8,5m

Donde,

$h$  = altura entre el plano de trabajo y el plano de trabajo de las luminarias

$h'$  = altura del local

$$h = \frac{4}{5}(h' - h)$$

$$h = \frac{4}{5}(8,5 - 0,85)$$

$$\mathbf{h = 6,12m}$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.3.2.3 Cálculo del índice del local (K)

Este cálculo ya se realizó en el numeral 3.4.1.2 y es el mismo para el caso de las luminarias LED. Para determinar el valor de K se utiliza la ecuación 8.

$$k = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

$$k = \frac{(20m)(90m)}{6,12m(20m + 90m)}$$

$$k = 2,67$$

### 3.3.2.4 Determinación del factor de utilización (Cu)

El factor de utilización se calcula igual que en el numeral 3.4.1.3 para el caso de las luminarias LED, pero con valores que se pueden encontrar en la Tabla 10.

Como se puede observar, el índice de local no puede ser leído directamente por lo tanto se debe interpolar entre los valores señalados (ver Tabla 10).

Como se había mencionado en el numeral 3.4.1.3 se toman las recomendaciones y valores cuando el local o la nave industrial no es nueva. 0,5 para el techo, 0,3 para las paredes y el suelo 0,1.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>							Código	FDE 089
								Versión	04
								Fecha	24-02-2020

**Tabla 10.** Factor de Utilización Lámpara LED

<i>REFERENCIAS</i>										
<i>techo</i>	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0
<i>paredes</i>	0.7	0.5	0.3	0.7	0.6	0.3	0.7	0.5	0.3	0
<i>Plano de trabajo</i>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
<i>Índice de habitación</i>	<i>Utilización factor de (porcentaje) K(RI) × RCR = 5</i>									
<i>K= 0.60</i>	69	60	54	69	60	54	68	59	54	49
<i>0.8</i>	79	70	64	78	70	64	77	69	64	58
<i>1.00</i>	87	79	73	86	78	73	84	79	72	67
<i>1.25</i>	93	85	60	92	85	80	90	83	79	73
<i>1.50</i>	97	90	85	96	89	85	93	88	83	77
<i>2.00</i>	102	96	92	101	95	91	98	93	89	83
<i>2.50</i>	105	100	95	103	96	94	100	96	92	85
<i>3.00</i>	108	103	99	106	101	98	102	98	95	88
<i>4.00</i>	110	106	103	108	105	102	104	101	99	91
<i>5.00</i>	112	108	106	110	107	104	105	103	101	92
<i>Índice de habitación</i>	<i>UF(TOTAL)</i>									<i>DIRECTO</i>
Según DIN EN 13032-2 2004	suspensión						SHRNOM= 1.25			

**Fuente.** (FEILO SYLVANIA, 2016-2017)

Los siguientes valores se toman para los dos sistemas de iluminación (LED y Metal Halide)

- Índice de local (K): 2,67
- Coeficientes de reflexión:
  - Techo: 0,5
  - Pared: 0,3
  - Piso: 0,1

$$CU = \frac{0,96 + 0,92 + 0,98 + 0,95}{4} = \mathbf{0,952\%} \quad \text{Ecuación (16)}$$

### 3.3.2.5 Determinación del flujo luminoso total

Este valor se calcula de la misma forma como en el numeral 3.4.1.6 en el cual se utiliza la ecuación 10 y el único valor que se debe cambiar es el que corresponde al factor de utilización para las luminarias LED (0,952).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$\Phi_T = \frac{E * S}{cu * fm}$$

$$\Phi_T = \frac{300LX * (20 * 90)m^2}{0,952 * 0,8}$$

$$\Phi_T = 709033.61Lm$$

### 3.3.2.6 Cálculo del número de luminarias (N)

Para determinar el número de luminarias, se utiliza el mismo procedimiento que en el numeral 3.4.1.7 cambiando los valores que corresponden para las luminarias LED.

- $N$ : número de luminarias
- $\Phi_T$ : flujo luminoso total (Lm)
- $n$ : número de luminaria por lámparas
- $\Phi_L$ : flujo luminoso de una lámpara (Lm)

$$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L}$$

$$N = \frac{709033Lm}{1 * 27500Lm}$$

$$N = 25,78$$

$$N \approx 26 \text{ Luminarias}$$

### 3.3.2.7 Distribución de luminarias en la nave

Para conocer la distribución de las luminarias LED en la nave, se procede de igual forma como se hizo en el numeral 3.4.1.8 y utilizando la ecuación 12 y 13 donde se define la ubicación de las luminarias a lo largo y ancho del local.

- **Numero de luminarias a lo ancho**

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{N_{\text{total}} \left( \frac{\text{ancho}}{\text{largo}} \right)}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$N \text{ ancho} = \sqrt{26 \left(\frac{20}{90}\right)}$$

$$N \text{ ancho} = \mathbf{2,4 \text{ luminarias}}$$

- **Número de luminarias a lo largo**

$$N \text{ largo} = N \text{ ancho} \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}}\right)$$

$$N \text{ largo} = 2,4 \left(\frac{90}{20}\right)$$

$$N \text{ largo} = \mathbf{10,8 \text{ luminarias}}$$

$$N \text{ largo} \approx \mathbf{11 \text{ luminarias}}$$

La Tabla 11 presenta la distribución de las luminarias en toda el área que corresponde a la nave industrial. Como se puede observar, el número de luminarias a lo ancho equivale a 2 y el número de luminarias a lo largo corresponde a 11, para un total de 20 luminarias.

**Tabla 11.** *Distribución de las Luminarias en la Nave Industrial*

<b>Distribución de luminaria a lo ancho</b>	<b>Cantidad</b>
Número de luminarias	2
Separación entre luminarias	10m
Separación entre luminarias y pared	5m
<b>Distribución de luminaria a lo largo</b>	<b>Cantidad</b>
Número de luminarias	10
Separación entre luminarias	8,5m
Separación entre luminarias y pared	2,5m
<b>Total luminarias</b>	<b>20</b>

*Fuente:* elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.3.2.8 Comprobación del resultado

Para la comprobación del resultado se procede de igual forma como en el sistema Metal Halide numeral 3.4.1.9 con los datos de la tabla 7 y utilizando la ecuación 14.

$$E = \frac{N. n. \Phi L. cu. fm}{S} \geq E \text{ tablas}$$

$$E = \frac{(26 \times 1 \times 27500 \times 0,952 \times 0,8)lm}{(90 * 20)m^2} \geq 300lux$$

$$302,52 \geq 300lux \text{ (Se comprueba el resultado)}$$

### 3.3.2.9 Valor de la eficiencia energética de la instalación VEEI (luminaria LED)

Para conocer el valor del VEEI es necesario proceder como en el numeral 3.4.1.10 ya que las dos tecnologías de iluminación pueden compartir las mismas ecuaciones, que para este caso es la ecuación 15.

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_{promedio}}$$

Donde:

- **P** Potencia total instalada en las bombillas más los equipos auxiliares, incluyendo sus pérdidas [W]
- **S** Superficie iluminada [ $m^2$ ]
- **$E_{promedio}$**  Iluminancia promedio horizontal mantenida [lux]

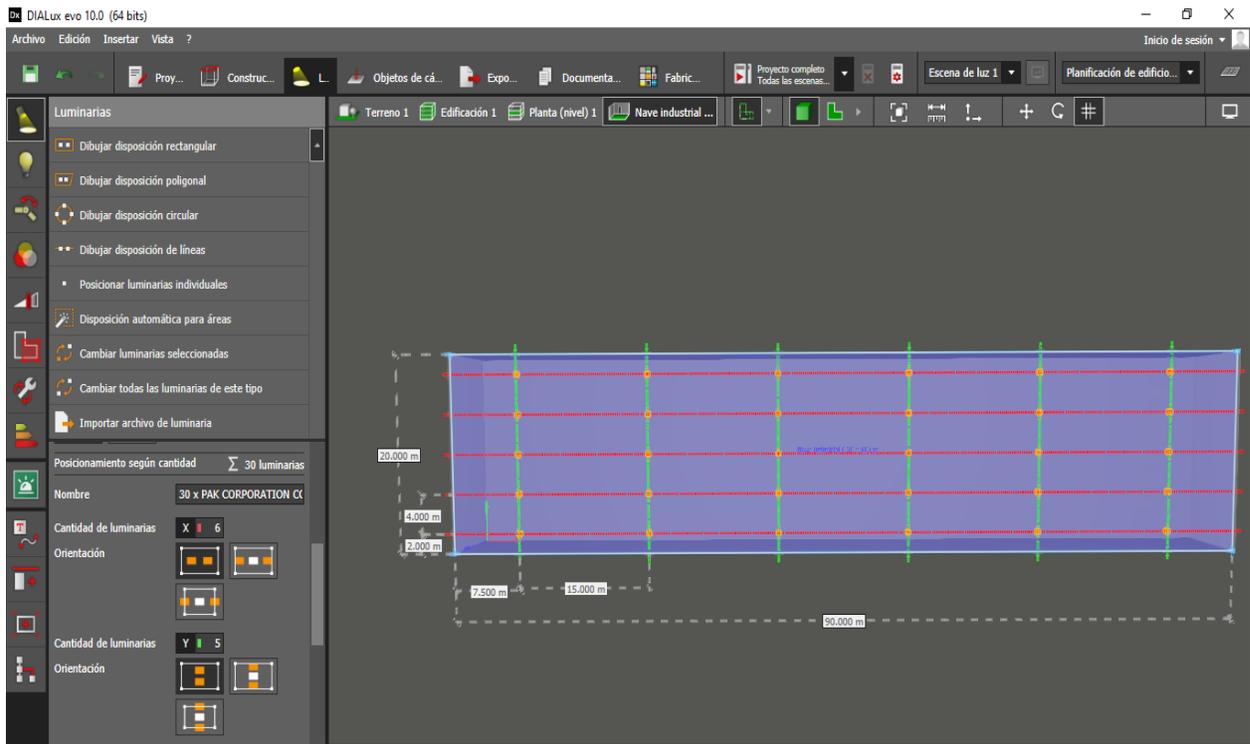
$$VEEI = \frac{5750W * 100}{(90 * 20)m^2 * 302,52lux}$$

$$VEEI = 1,055 W/m^2/100lux$$

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.3.3 Cálculo de luminarias por el Software DIALux

Los resultados obtenidos con el software DIALux, tienen una diferencia de cuatro luminarias respecto de los cálculos manuales, esto debido a que en este programa no se pudo cargar la referencia exacta de la luminaria que tomamos como base para hacer los cálculos, por lo tanto, la cantidad de lm/W era un poco inferior y en el cálculo manual no se toma el área marginal. En total el software arrojó 30 luminarias como se puede observar en la Figura 12.



**Figura 12.** *Cálculo de luminarias*

Fuente: elaboración propia

### 3.4 Diseño Eléctrico de la Instalación

En la mayoría de los países las instalaciones eléctricas deberán cumplir diferentes disposiciones legales publicadas por las autoridades nacionales o por organismos privados

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

reconocidos. Es primordial tener en cuenta estas restricciones locales antes de comenzar el diseño (SCHNEIDER ELECTRIC, 2008).

En Colombia existe el **Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE** en el cual se establecen los requisitos que garanticen los objetivos legítimos de protección contra los riesgos de origen eléctrico, para esto se han recopilado los procesos esenciales que definen el ámbito de aplicación y las características básicas de las instalaciones eléctricas y algunos requisitos que pueden incidir en las relaciones entre las personas que interactúan con las instalaciones eléctricas o el servicio y los usuarios de la electricidad (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

Cualquier instalación eléctrica objeto de **RETIE** debe asociarse a uno de los siguientes niveles de tensión:

- Extra alta tensión (EAT):  $> 230\text{kV}$
- Alta tensión (AT):  $\geq 57,5\text{kV}$  y  $\leq 230\text{kV}$
- Media tensión (MT):  $> 1000\text{V}$  y  $< 57,5\text{kV}$
- Baja tensión (BT):  $\geq 25\text{V}$  y  $\leq 1000\text{V}$
- Muy baja tensión:  $< 25\text{v}$

### 3.4.1 Dimensionamiento de los Conductores

El papel que desempeña todo conductor en una instalación eléctrica, es llevar energía eléctrica desde un punto de suministro, hasta otro punto de uso final. En este trayecto se presentan varios fenómenos como: caída de tensión y calentamiento debido a la resistencia interna del mismo. Parte de la energía que se transporta se disipa en forma de calor, y como consecuencia el calor producido es energía que no se aprovecha e incrementa el precio de la facturación.

Todo lo anterior se resume en saber dimensionar la sección transversal del conductor y las características del aislamiento, de forma que la caída de tensión no supere lo establecido por la norma NTC-2050, sección 210-19. Esta se establece como una recomendación en la cual la caída de tensión no debe superar el 3%.

Para seleccionar el calibre del conductor y calcular la caída de tensión, es necesario tener en cuenta ciertos factores como: potencia instalada, potencia aparente, corriente nominal, factor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de potencia, longitud del circuito y resistencia del conductor. Para este caso se utilizan las ecuaciones 3 y 4.

$$P_{instalada} = P_{a\ regimen} \times N_{lámparas}$$

$$P_{instalada} = 250W \times 24lámparas$$

$$P_{instalada} = 6kW$$

$$P_{aparente (S)} = \frac{P_{activa}}{fp}$$

Para el caso de las luminarias LED, el factor de potencia es 0,95

$$P_{aparente (S)} = \frac{6kW}{0,95}$$

$$P_{aparente (S)} = 6315,78 VA$$

#### 3.4.1.1 Cálculo de la corriente nominal bifásica

$$V_{LL} = 220V$$

$$V_{Ln} = 127V$$

$V_{Ln}$  = Voltaje línea neutro

$V_{LL}$  = Voltaje línea-línea

La tensión que suministra la subestación de la nave es: 13,2 kV/220 V trifásico

$$V_{Ln} = \frac{220}{\sqrt{3}}$$

$$V_{Ln} = 127 V$$

$$S_{3\phi} = V * \sqrt{3} * I_{3\phi}$$

Ecuación (17)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$S_{3\phi}$  = Potencia aparente trifásica

$$I_{3\phi} = \frac{S_{3\phi}}{V * \sqrt{3}}$$

$$I_{3\phi} = \frac{6315,78 VA}{220 V * \sqrt{3}}$$

$$I_{3\phi} = \mathbf{16,57 A}$$

### 3.4.1.2 Selección del conductor

Para la selección del conductor es necesario tener en cuenta las normas y recomendaciones que se definen en el RETIE. Para este caso nos basamos en el artículo 20.2.9.f.

Los conductores no deben operar a una temperatura mayor a la de diseño del elemento asociado al circuito eléctrico (canalizaciones, accesorios, dispositivos o equipos conectados) que soporte la menor temperatura, la cual en la mayoría de equipos o aparatos no supera los 60 °C, de acuerdo con el artículo 110-14 C de la NTC 2050.

Para este caso debe tenerse en cuenta que el conductor es de cobre (Cu), 60 °C y es canalizado, por lo tanto, recurrimos a la tabla 310-16 de la NTC 20-50 (ver Tabla 12). Para una corriente nominal de 16,57 Amperios corresponde un conductor calibre 14 AWG.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 12.** Capacidad de Corriente Permissible en Conductores Canalizados

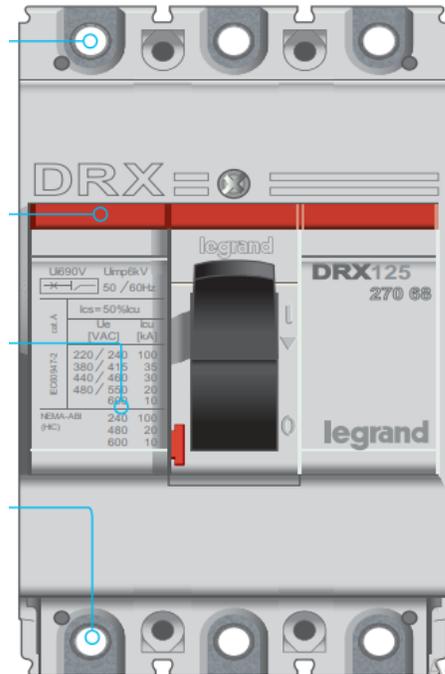
**Tabla 310-16 Capacidad de corriente permissible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.**

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver <a href="#">Tabla 310-13</a> )						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

Fuente. NTC 20-50

### 3.4.1.3 Selección del dispositivo de protección

Para la protección del sistema eléctrico se utiliza un interruptor termomagnético (TMC) que es uno de los más utilizados, que sirve para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos. Este es un dispositivo compacto (ver Figura. 13) y se puede utilizar como interruptor general o derivado y su diseño puede soportar gran número de operaciones (Serbán, 1995).



**Figura 13.** Interruptor termomagnético

**Fuente.** (Nalelectricos, 2020)

Para la selección del interruptor termomagnético, se toma como referencia de la norma NTC 2050, la tabla 250-95 donde se muestra la corriente de los dispositivos y el calibre del conductor de puesta a tierra para dicha corriente (ver Tabla 13). Para una corriente de 16,57 Amperios corresponde una PTM de 20 Amperios y un cable calibre 12 AWG para tierra.

**Tabla 13.** Selección de PTM y Conductores para Tierra

**Tabla 250-95.** Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. (A)	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1.000	67,44	2/0	107,21	4/0
1.200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1.600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2.000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2.500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3.000	202,68	400 kcmil	304,02	600 kcmil
4.000	253,25	500 kcmil	405,36	800 kcmil
5.000	354,69	700 kcmil	608,04	1.200 kcmil
6.000	405,36	800 kcmil	608,04	1.200 kcmil

Fuente: NTC 20-50

### 3.4.1.4 Caída de tensión del conductor principal

La caída de tensión es la diferencia que existen entre el voltaje aplicado al extremo del alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma, cuando está circulando la corriente nominal.

Una forma para determinar la caída de tensión para un sistema bifásico, es de forma porcentual como lo indica la siguiente expresión.

$$C_{t3\phi} = \frac{\sqrt{3} * DT * Rc * I}{1000 * V * Nc} * 100\% \quad \text{Ecuación (18)}$$

- $Nc$  = Número de conductores por fase
- $Rc$  = Resistencia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ )
- $DT$  = Distancia del circuito (metros)
- $C_{t3\phi}$  = Caída de tensión trifásica

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- $V =$  Voltaje

$$C_{t3\phi} = \frac{\sqrt{3} * 75m * 10,7\Omega/km * 16,57A}{1000 * 220V * 1} * 100\%$$

$$C_{t3\phi} = 10,46\%$$

Como se observa, el porcentaje de caída de tensión es superior al 3% por lo tanto se debe recalcular con un conductor cuya resistencia sea lo suficientemente baja para que cumpla con un porcentaje menor o igual a tres.

Se selecciona de la Tabla 13 un conductor número 8AWG con una resistencia de 1,67  $\Omega/km$  y se observa que el porcentaje ya cumple con lo recomendado por el RETIE.

$$C_{t3\phi} = \frac{\sqrt{3} * 75m * 2,65\Omega/km * 16,57A}{1000 * 220V * 1} * 100\%$$

$$C_{t3\phi} = 2,6\%$$

### 3.4.1.5 Resumen del cálculo del conductor

Aquí se presenta la cantidad de conductores con sus respectivos calibres. Las tres fases corresponden a la distancia que hay entre la subestación eléctrica y la caja de distribución que tiene tres fases, neutro y tierra.

- Número de fases = (3 \* 8AWG)
- Neutro = (1\*8AWG)
- Tierra = (1\*12AWG) Tabla 250-95 NTC 2050

El total de conductores que serán canalizados es igual a la cantidad de conductores por fase, cantidad de conductores por neutro y por último el conductor de tierra. Se debe tener en cuenta que se toma como referencia el calibre del conductor con mayor diámetro (8AWG).

Cantidad de conductores por tubo: 5\*8AWG

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.4.1.6 Selección de la canalización

Para la canalización de los conductores se utilizará **TUBERÍA ELÉCTRICA METÁLICA (EMT)**. Este tipo de tubería se utiliza para la canalización de cables eléctricos en zonas industriales, comerciales y residenciales. Esta tubería es galvanizada, previene la corrosión y se utiliza en instalaciones expuestas y ocultas.

Para seleccionar la canalización se debe tener en cuenta la cantidad de conductores y la sección transversal de cada uno (ver Tabla.14), seguidamente se suman todas las secciones y elige el diámetro del tubo que corresponde.

**Tabla 14.** Dimensión de los Conductores Aislados

Tipos: AF, RHH*, RHW*, RHW-2*, RHHN, RHHW, THW, THW-2, TFN, TFFN, THWN, THWN-2, XF, XFF				
Tipo	Calibre AWG o kcmil	Sección Transv. cond. (mm <sup>2</sup> )	Diámetro aprox. (mm)	Sección aprox. total (mm <sup>2</sup> )
RHH*, RHW*, RHW-2* THH, THW, AF, XF, XFF	12	3,30	4,6	16,8
	10	5,25	5,2	21,5
	8	8,36	6,8	35,9
RHH*, RHW*, RHW-2* THHW, THW, THW-2	6	13,29	7,7	46,8
	4	21,14	6,9	62,8
	3	26,66	9,7	73,2
	2	33,62	10,5	86
	1	42,2	12,5	122,6
	1/0	53,50	13,5	143,4
	2/0	67,44	14,7	169,3
	3/0	85,02	16,0	201,1
	4/0	107,21	17,5	239,9
	250	126,67	19,4	296,5
	300	152,01	20,3	340,7
	350	177,34	22,1	384,4
	400	202,68	23,3	427,0
	500	253,35	25,5	509,7
	600	304,02	28,3	627,7
	700	354,69	30,1	710,3
	750	380,02	30,9	751,7
	800	405,36	31,8	791,7
	900	456,03	33,4	874,9
	1000	506,70	34,8	953,8
1250	633,38	39,1	1200,1	
1500	760,05	42,2	1 399,7	
1750	886,73	45,1	1 598,3	
2 000	1 013,40	47,8	1794,7	
TEN	18	0,82	2,1	3,6
TIFF	16	1,31	2,4	4,7
	14	2,08	2,8	6,3
	12	3,30	3,3	8,6
THHN THWN THWN-2	10 •	5,25	4,2	13,6
	8	8,36	5,5	23,6
	6	13,29	6,6	32,7
	4	21,14	8,2	53,2
	3	26,66	9,9	62,8
	2	33,62	10,8	74,7
	1	42,2	12,5	100,8
	1/0	53,50	13,5	119,7
	2/0	67,44	14,7	143,4
	3/0	85,02	16,0	172,8
	4/0	107,21	17,5	208,8
	250	126,67	19,4	256,1
	300	152,01	20,3	297,3

Fuente: NTC 20-50

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

- Cantidad de conductores por tubo: 5\*8AWG
- Sección transversal por conductor:  $23,6\text{mm}^2$
- Total sección transversal =  $118\text{mm}^2$

Con la sección transversal total de los conductores, se selecciona el diámetro del tubo comparando este valor con el que corresponda en la Tabla 15. En este caso valor más próximo es  $118\text{mm}^2$  que equivale a un tubo de 3/4 de pulgada.

**Tabla 15.** Dimensión de las Secciones de los Tubos

Tamaño comercial		Tuberías eléctricas metálicas (EMT)					Tuberías eléctricas no metálicas				
pulgadas	mm	Diámetro interior, mm	Sección total 100%, mm <sup>2</sup>	Dos hilos, 31%, mm <sup>2</sup>	Más de dos hilos, 40%, mm <sup>2</sup>	Un hilo, 53%, mm <sup>2</sup>	Diámetro interior, mm <sup>2</sup>	Sección total 100%, mm <sup>2</sup>	Dos hilos, 31%, mm <sup>2</sup>	Más de dos hilos, 40%, mm <sup>2</sup>	Un hilo, 53%, mm <sup>2</sup>
1/2	16	15,80	196,1	60,85	78,71	103,87	14,22	158,71	49,03	63,87	84,52
3/4	21	20,93	343,9	106,45	137,42	182,58	19,30	292,9	90,96	116,77	154,84
1	27	26,64	557,4	172,90	223,23	296,48	25,40	506,45	156,77	202,58	268,39
1 1/4	35	35,05	965,2	299,35	385,81	511,61	34,04	909,68	281,93	363,87	481,93
1 1/2	41	40,89	1 313,6	407,1	525,16	696,13	39,88	1249,03	387,1	499,35	661,93
2	53	52,50	2165,2	670,97	865,80	1 147,09	51,31	2067,74	641,29	827,1	1096,13
2 1/2	63	69,37	3779,3	1 171,61	1511,61	2008,22		---			
3	78	85,24	5 707,1	1 123,87	2282,58	3024,51		---			
3 1/2	91	97,38	7 448,4	2309,03	2979,35	3947,73		---			
4	104	110,08	9518,0	1 014,84	3807,09	5044,51		---			
Tamaño comercial			Tubo conduit metálico flexible				Tubo conduit metálico intermedio (IMC)				

Fuente: NTC 2050

### 3.4.1.7 Circuito ramal de las luminarias

El circuito ramal corresponde al circuito que va después de la caja de distribución de 24 circuitos, para efectos de cálculo se toma como base el circuito ramal más largo, que en este caso equivale a 100 m de longitud el cual está compuesto de cuatro luminarias de 250 W-220 Vac. Se calcula la corriente que corresponde al circuito con la ecuación 5.

$$S_{2\phi} = \frac{P_{potencia}}{fp}$$

$$S_{2\phi} = \frac{4 * 250W}{0,95}$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$S_{2\phi} = 1,052kVA$$

$$I_{2\phi} = \frac{1,052kVA}{220V}$$

$$I_{2\phi} = 4,78A$$

Para este caso se debe tener en cuenta que el conductor es de cobre (Cu), temperatura 60°C, canalizado.

Para la selección del conductor se toma como referencia la Tabla 310-16 de la NTC-2050, la cual indica que para una corriente de 4,78 A, corresponde un calibre 14 AWG.

La Protección Termomagnética (PTM) corresponde a 15 A como lo indica la RETIE. La protección contra sobrecorrientes para el calibre 14 AWG, no debe superar 15 A.

#### 3.4.1.7.1 Caída de tensión circuito ramal

Para este cálculo se toma como base la longitud del circuito que equivale a 100 m y resistencia del conductor 10,7  $\Omega/km$ . Esta caída de tensión se toma para un circuito bifásico (Voltaje línea-línea) y se calcula con la ecuación 18.

$$C_{t3\phi} = \frac{2 * DT * Rc * I}{1000 * V * Nc} * 100\%$$

- $Nc$  = Número de conductores por fase
- $Rc$  = Resistencia del conductor ( $\Omega/km$ )
- $DT$  = Distancia del circuito (metros)
- $C_{t2\phi}$  = Caída de tensión bifásica

$$C_{t2\phi} = \frac{2 * 100m * 10,7\Omega/km * 4,78A}{1000 * 220V * 1} * 100\%$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$C_{t2\phi} = 4,64\%$$

Como se observa, la caída de tensión es superior a 3% por lo tanto se debe calcular con un calibre de conductor que no sobrepase dicho porcentaje.

Para corregir la caída de tensión se elige un calibre 12 AWG que tiene una resistencia de  $6,73 \Omega/km$ .

$$C_{t2\phi} = \frac{2 * 100m * 6,73\Omega/km * 4,78A}{1000 * 220V * 1} * 100\%$$

$$C_{t2\phi} = 2,92\%$$

#### 3.4.1.7.2 Resumen circuito ramal

Aquí se presenta la cantidad de conductores con sus respectivos calibres para un solo circuito.

- Número de fases = (2 \* 12AWG)
- Tierra = (1\*14AWG) Tabla 250-95 NTC 2050

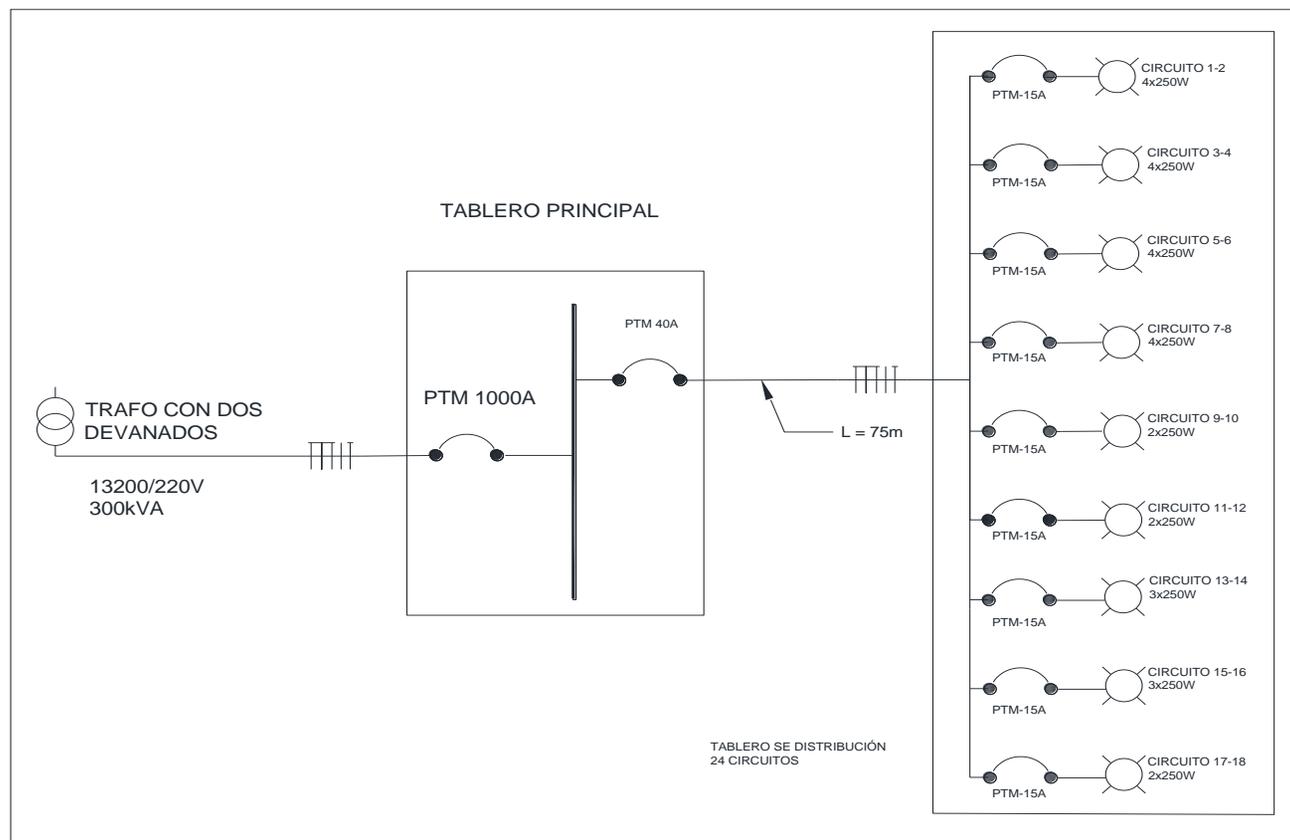
El total de conductores a canalizar es 27, de los cuales 18 son para la alimentación de las luminarias y 7 para el conductor de tierra de cada circuito.

#### 3.4.1.7.3 Selección de la canalización

- Cantidad de conductores por tubo: 27\*12AWG
- Sección transversal por conductor:  $8,6mm^2$  (Ver tabla 13)
- Total sección transversal =  $232,2mm^2$

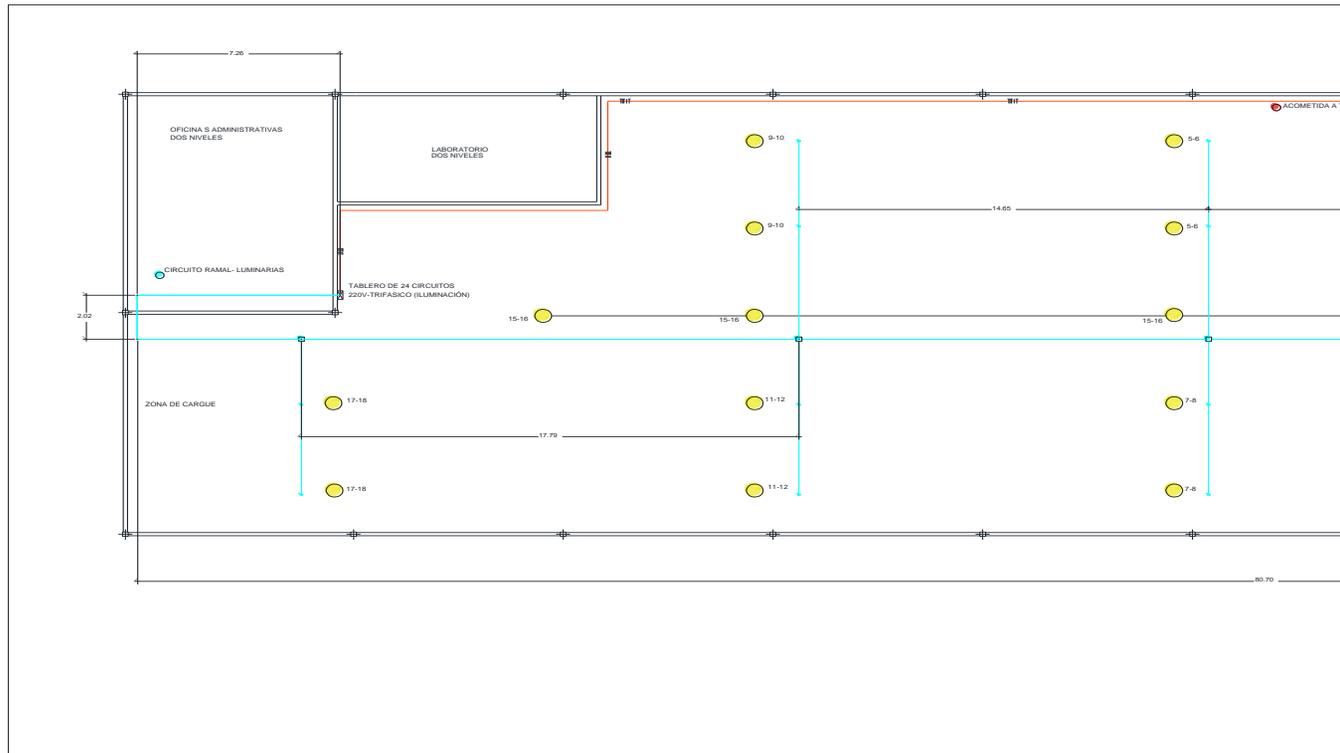
Con la sección transversal total de los conductores, se selecciona el diámetro del tubo (EMT) en la Tabla 14 que corresponde a 1-1/4 de pulgada.

Para representar de manera gráfica el circuito eléctrico de iluminación, se elabora el diagrama unifilar y diagrama de distribución eléctrica de la planta donde se representa de una forma más clara las dimensiones de la nave industrial (ver Figura 14, 15 y 16).



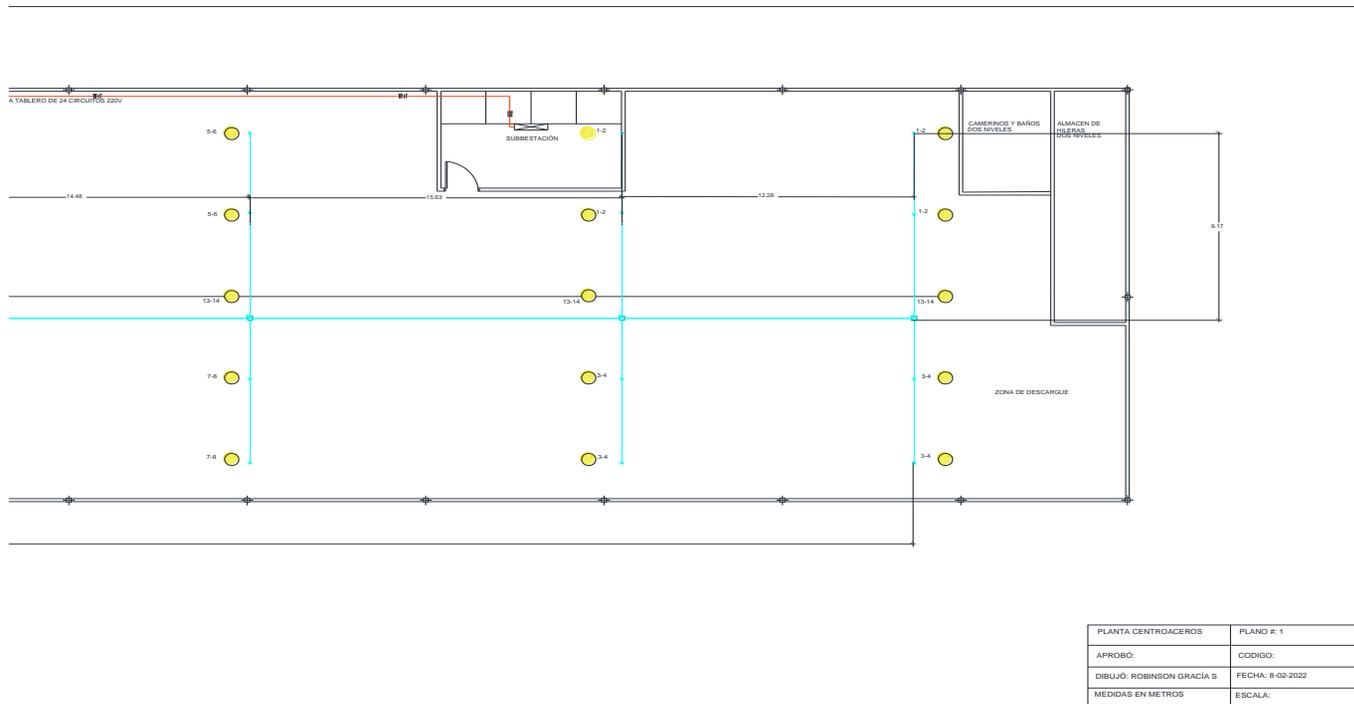
**Figura 14.** Diagrama unifilar sistema de iluminación

**Fuente:** elaboración propia



**Figura 15.** *Diagrama de distribución eléctrica (tramo 1)*

**Fuente:** elaboración propia



**Figura 16.** Diagrama de distribución eléctrica (tramo 2)

**Fuente:** elaboración propia

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.5 Sistema de control automático

Este tipo sistema es de gran importancia para el proyecto porque se puede controlar de forma más segura y confiable la iluminación de la nave industrial, esto con el fin de evitar la manipulación directa de los interruptores termomagnéticos como se hace en la actualidad. El sistema automático se diseña para el encendido de las luminarias por medio de un interruptor programable de horario (ver Figura 17) en el cual se establece los días y la hora de encendido posterior apagado de la iluminación.



**Figura 17.** *Interruptor programable de horario*

**Fuente:** (Finder, 2018)

Al elegir la opción de automático, el interruptor programable entra en funcionamiento realizando el encendido y apagado de la iluminación a la hora y días de la semana establecidos. La señal emitida por este dispositivo, acciona el encendido de nueve relevos bipolares (Ver figura 18) donde cada uno energiza un circuito de iluminación y un piloto indicador de encendido.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



**Figura 18.** *Contactor bipolar*

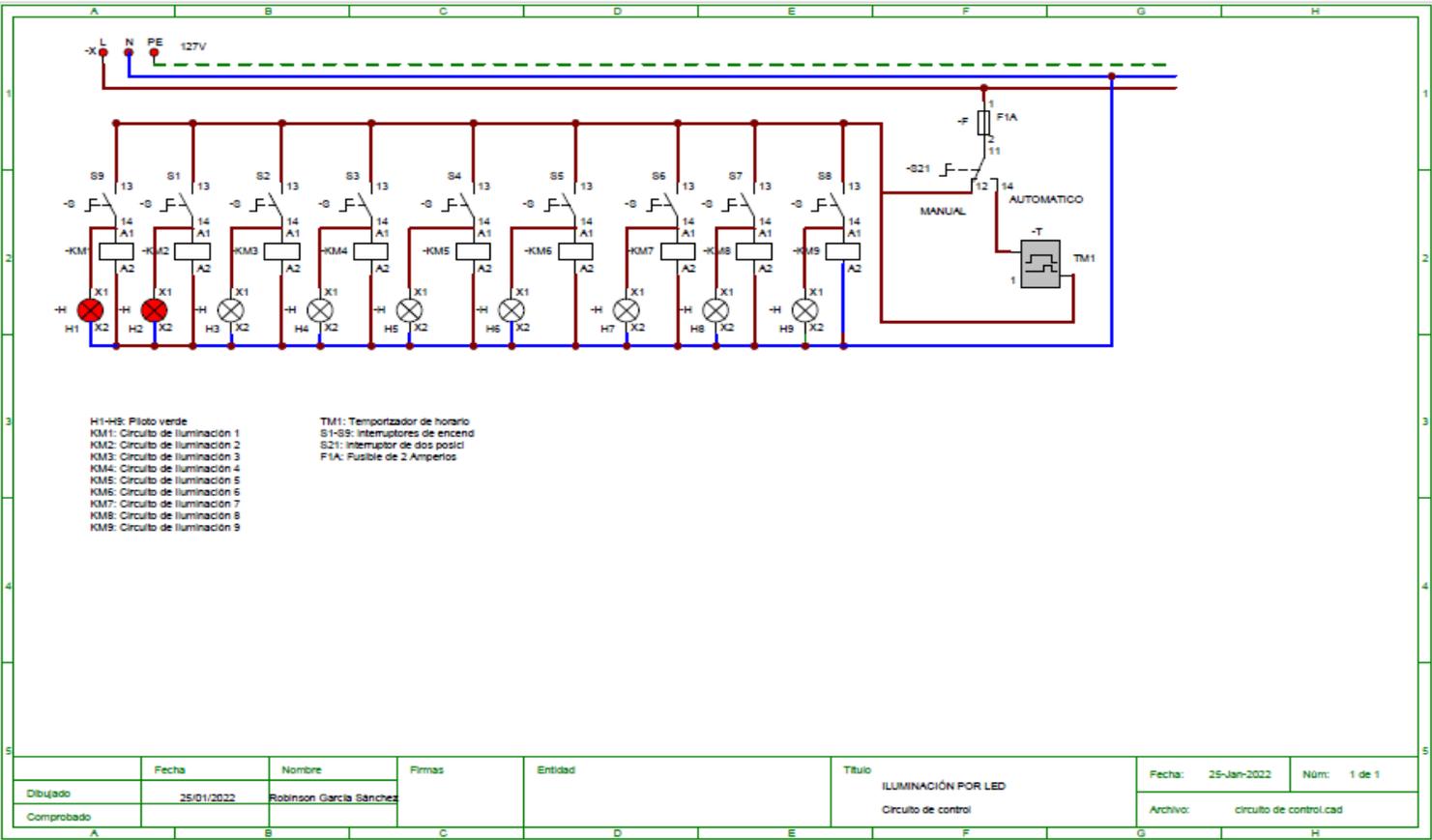
**Fuente:** (Guzman Electricidad, 2020)

Al seleccionar el modo manual, el funcionamiento del control de los circuitos se acciona inmediatamente y por medio de nueve interruptores de codillo (ver Figura 19) se puede elegir que zonas de la nave se pueden iluminar para ahorrar energía, esta maniobra de iluminación por sectores se puede hacer en modo manual como automático, de esta forma el encendido de las luminarias a través de los interruptores termomagnéticos no es necesario. En el diagrama de control (ver Figura 20), se ilustra cada componente con su respectiva simbología.



**Figura 19.** *Suiche de codillo*

**Fuente:** (Nalelectricos, 2020)



**Figura 20.** Diagrama de control para el sistema de encendido automático

**Fuente:** elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.6 Sistema de Protección

Los cortocircuitos no son frecuentes y, cuando se producen, apenas duran unas décimas de segundo, pero sus consecuencias son tan graves e imprevisibles que obligan a un constante estudio y mejora de los dispositivos de protección (Rosas, 2002).

Los circuitos eléctricos están diseñados para que fluya solo una cantidad de corriente por ellos y el límite de la corriente se calcula en función de la impedancia de la carga. Cuando esta impedancia pasa a ser un valor muy pequeño, por ejemplo, como un cortocircuito, entonces una corriente alta fluirá a través del circuito y comúnmente se llama corriente de cortocircuito.

Para evitar que los cables se fundan por esta corriente se debe instalar elementos de protección que sean capaces de interrumpir la corriente cuando tenga valores elevados en un tiempo muy corto para evitar el calentamiento. Para este tipo de situaciones normalmente se utiliza el interruptor termomagnético que consta de dos partes, una magnética (ley de Ampere) y una térmica (ley de Joule), la primera se acciona por el aumento de la corriente (cortocircuito) y la segunda por carga (deformación de una lámina bimetálica).

El poder es igual a la corriente máxima que es capaz de interrumpir el interruptor termomagnético y debe ser mayor que la corriente de cortocircuito ( $PdC > I_{cc}$ ).



**Figura 21.** *Interruptor termomagnético bipolar*

**Fuente:** (Siemens, 2019)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3.7 Inversión y Costos

El costo de la inversión para la empresa Centroaceros S.A.S. en lo que corresponde al diseño del sistema de la iluminación por campana led industrial HIGH BAY de 250 W y todos los materiales que se utilizarán más la mano de obra necesaria en el cambio de las luminarias de la nave industrial se muestran en la Tabla 16, en esta se presenta la información detallada de los materiales necesarios y el costo por unidad a un valor promedio comercial.

**Tabla 16.** *Costo del Cambio de Sistema de Iluminación*

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO \$	VALOR TOTAL \$
150	Conductor calibre # 8 (AWG) THHN 75m	4789	718350
75	Neutro calibre # 8 (AWG) THHN 75m	4789	359175
75	Tierra calibre # 12 (AWG) THHN 75m	1519	113925
1	Interruptor Termomagnético tripolar	165000	165000
23	Tubo metálicos 3/4 (EMT)	26750	26750
15	Unión metálica 3/4 (EMT)	700	700
8	Curvas metálicas 3/4	2300	2300
6	Mano de obra día	600000	3600000
1	Tablero triásico de 24 circuitos	300000	300000
4	Conector de acero para tubos EMT 3/4 pulgada	2000	8000
9	Interruptor TM enchufable bipolar 15A	35000	315000
28	Campana LED HIGBAY 250W	430000	12040000
1200	Alambre de cobre THHN/THWN 12 AWG metro	1519	1822800
600	Alambre de cobre THHN/THWN 14 AWG metro	1200	720000
32	Tubo EMT 1-1/4pulg 3m longitud	60900	1948800
13	Conector de acero para tubos EMT 1-1/4	2225	28925
28	Unión metálica 1-1/4 EMT	2971	83188
6	Caja de paso metálica 20x20x10cm	22136	132816
11	Tubo metálico 1/2 x3m EMT	17900	196900
1	Sistema de control automático	1254000	1254000
	<b>TOTAL</b>		<b>22453429</b>

Fuente: Elaboración propia

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Conforme al procedimiento metodológico de la investigación y los objetivos específicos de la misma, el proyecto arrojó los siguientes resultados:

La medición del sistema de iluminación actual de la empresa, se realizó en base a, materiales eléctricos, el presupuesto, la geometría del lugar, el tipo de tecnología y su eficiencia, todo esto con el fin de establecer la factibilidad del proyecto.

Hasta este punto ya se puede hacer un análisis de la viabilidad del proyecto del sistema de iluminación, no obstante, cabe aclarar que se trata de una inversión a largo plazo y que la inversión inicial aparentemente crea un poco de desconfianza e incertidumbre, pero con los resultados se puede concluir que esta nueva tecnología LED trae grandes beneficios económicos, ambientales y productivos. Respecto del sistema de control automático de encendido, su implementación representa un ahorro de energía, ya que las áreas a iluminar poseen circuitos independientes, no hay espacio para errores al dejar la iluminación encendida cuando se termina la jornada laboral. La manipulación de los mandos de encendido la puede realizar cualquier persona y no estar sujetos al personal de mantenimiento, ya que los componentes eléctricos son seguros y el sistema de control está bien protegido en un gabinete.

### 4.1 Comparación general de los sistemas de iluminación LED y Metal Halide

Es importante resaltar que la dos tecnologías cumplen con su finalidad que es iluminar artificialmente los espacios, pero se debe hacer una comparación de los beneficios energéticos, económicos que cada uno de ellos contienen y cambiar el paradigma de las tecnologías antiguas de iluminación del siglo XX que son poco amigables con el medio ambiente como las luminarias incandescentes y las que funcionan a base de halogenuros metálicos que desperdician gran parte de la energía eléctrica en producción de calor. Afortunadamente y gracias a la internet se está cambiando de mentalidad en cuanto al ahorro de energía con productos eléctricos más eficientes.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

#### 4.1.1 Eficiencia Energética

Este término tan utilizado en la actualidad para referirse a muchos temas o conceptos, que buscan un cambio en las conductas relacionadas con la industria y la comunidad en general en cuanto al ahorro energético, el cuidado de los recursos naturales y la utilización de nuevas tecnologías encaminadas a lograr un mejor rendimiento con un menor impacto ambiental.

Para los dos sistemas de iluminación (LED y convencional Metal Halide) es necesario hacer un análisis de la eficiencia energética a partir de las apreciaciones que se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17.** *Características de las Luminarias*

<b>Tipo de luminaria</b>	<b>Zona a iluminar</b>	<b>Precio unitario \$</b>	<b>Eficacia (Lm/W)</b>	<b>Potencia Eléctrica (W)</b>	<b>Vida útil horas</b>	<b>Flujo luminoso (Lm)</b>
Campana MH	Bodega de producción	\$ 315000	100	400	30000	40000
Campana LED	Bodega de producción	\$ 430000	110-115	250W	50000	27750

*Fuente:* elaboración propia

Como se observa en la Tabla 16, las luminarias de tipo MH tienen un mayor flujo luminoso respecto de las luminarias LED, ya que este flujo está relacionado directamente con la potencia de la luminaria.

Según las cifras de vida útil de las luminarias (ver Tabla 16), se evidencia que las luminarias LED aportan un mayor grado fiabilidad, lo que representa un gran ahorro en labores de montaje y mantenimiento.

Se puede decir de la iluminación convencional (Metal Halide) que, a pesar de tener unos buenos índices de iluminación, no representan un gran ahorro energético y económico a largo plazo, ya que no tienen la misma vida útil que las luminarias LED, además el consumo de energía eléctrica y los costos por mantenimiento se vuelven más altos.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

#### 4.1.2 Ahorro Energético

El consumo de energía eléctrica en sistemas de iluminación poco eficientes, representa un costo alto para las empresas que no tiene un control o monitoreo constante de ello, por esta razón es que se hace este análisis de eficiencia en el sistema de iluminación para Centroaceros S.A.S. y con datos reales se puede demostrar que el desperdicio de energía es grande y esto se refleja en la factura de servicios públicos.

Para conocer en ahorro de energía eléctrica, es necesario recopilar algunos datos entre los dos sistemas de iluminación como se observa en la tabla 18.

**Tabla 18.** *Tiempo Real de Funcionamiento*

<b>Sistema de iluminación</b>	<b>Zona a iluminar</b>	<b>Potencia(W)</b>	<b>Cantidad de campanas</b>	<b>Horas de funcionamiento año</b>
MH	Bodega de producción	400	28	5008
LED	Bodega de producción	250	26	5008

*Fuente:* elaboración propia

Precio de kWh a diciembre de 2021 industrial y comercial \$680,11(EPM). Este precio se obtiene de: Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado – EPM.

Para hacer al cálculo del consumo de energía de cada uno de los sistemas de iluminación, se toma como referencia 313 días al año y 16 horas diarias que es el tiempo que normalmente se labora en la planta de producción.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Con los datos anteriores ya se puede saber el costo real en pesos de lo que vale la energía durante un año para cada uno de los sistemas de iluminación y además el ahorro que se puede obtener si se implementara el sistema más económico (ver Tabla 19).

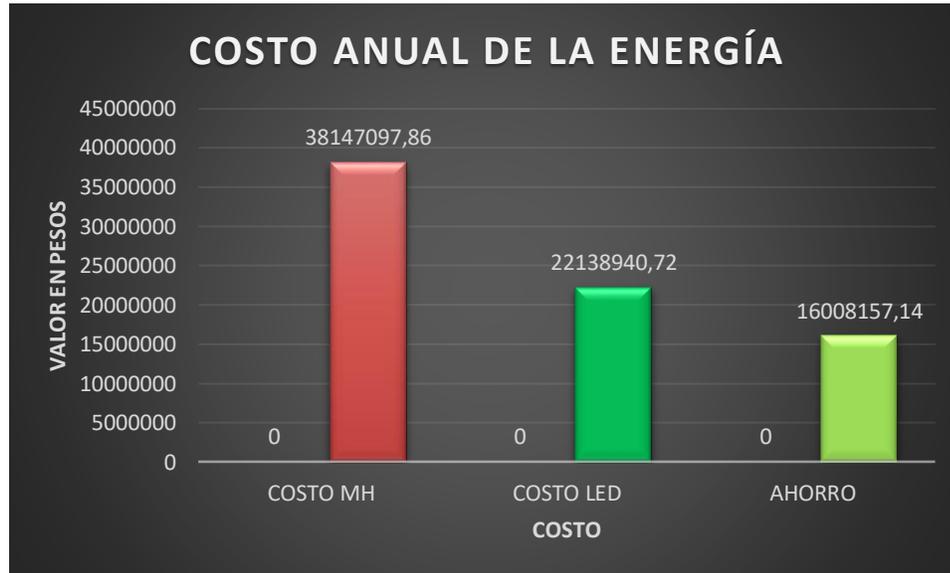
**Tabla 19.** *Consumo de Energía de las Luminarias*

<b>Sistema de iluminación</b>	<b>Potencia total</b>	<b>Consumo kWh/año</b>	<b>Valor kWh</b>	<b>Costo total</b>
MH	11,2kW	56089,6	\$680,11	\$38147097,86
LED	6,5kW	32552	\$680,11	\$22138940,72

*Fuente:* elaboración propia

$$\text{Ahorro anual} = \$38147097,86 - \$22138940,72 = \mathbf{\$16008157,14}$$

Este ahorro se puede observar mejor en la Figura 22. El valor verde claro muestra el valor en pesos que se obtiene, si se utilizara como fuente de iluminación las luminarias tipo LED de 250W.



**Figura 22.** Costo anual de la inversión

**Fuente:** (Dávila Vásquez, 2013)

#### 4.1.3 Retorno de la inversión

Al momento de evaluar que tan rentable puede llegar a ser una inversión, es necesario también conocer las herramientas o el método por el cual se puede calcular este beneficio, en este caso se utiliza el TIR.

Potencia por unidad: Campana MH 400 W

Cantidad de luminarias: 28 unidades

$$P_{total} = 400W * 28 = 11200W = \mathbf{11,2kW}$$

Potencia por unidad: Campana LED industrial 250W

Cantidad de luminarias: 26 unidades

$$P_{total} = 250W * 26 = 6500W = \mathbf{6,5kW}$$

Diferencia de potencia

$$11,2kW - 6,5kW = \mathbf{4,7kW}$$

Potencia por unidad: Campana MH 400 W

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Cantidad de luminarias: 28 unidades

$$P_{total} = 400W * 28 = 11200W = \mathbf{11,2kW}$$

Potencia por unidad: Campana LED industrial 250W

Cantidad de luminarias: 26 unidades

$$P_{total} = 250W * 26 = 6500W = \mathbf{6,5kW}$$

Diferencia de potencia

$$11,2kW - 6,5kW = \mathbf{4,7kW}$$

Percentage de ahorro

$$\frac{4700W}{11200W} * 100\% = \mathbf{41,96\%}$$

Ahorro kW por cada hora

$$11,2kW * 0,41 = \mathbf{4,6kW}$$

Ahorro de kW por 16 horas laboradas (día laboral)

$$4,6kW * 16horas = \mathbf{73,6kWh}$$

Valor kWh (EPM): \$680,11 variable

$$73,6kWh * \$680,11 = \mathbf{\$50056,096}$$

Ahorro año 1

$$\mathbf{\$18020194,56}$$

Valor kWh (EPM): \$680,11 \* 4,6% = \$711,39

$$73,6kWh * \$711,39 = \mathbf{\$52358,304}$$

Ahorro año 2

$$\mathbf{\$18848989,44}$$

Es importante tener en cuenta que el costo o valor del kWh varía dependiendo de los costos que implican la generación, transmisión y la comercialización de la energía eléctrica. Estos costos pueden variar por ciertos factores como el comportamiento de la hidrología, que determina la composición de la oferta entre energía generada por hidroeléctricas y la generada de forma térmica

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

que es más costosa. La tasa de variación anual de la energía eléctrica en Colombia es del 4,6% para el 2021.

Cabe anotar que el cálculo del ahorro anual se efectúa por medio de la fórmula de la desviación del aprovechamiento que representa el ahorro interno del costo de la inversión. El proyecto, diseño y estudio de la eficiencia eléctrica del sistema de iluminación es evaluado, ya que resulta factible con el cambio del sistema de iluminación por campanas LED industrial de 250 W. Este proyecto se puede desarrollar cuando lo requiera la empresa, ya que el capital invertido se puede recuperar en un periodo de 16 meses (ver Figura 23). El cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) arroja un valor 40% representando un tiempo relativamente corto para recuperar la inversión. Con el software de Excel se elabora la tabla para el cálculo de la tasa interna de retorno (ver Tabla 20).

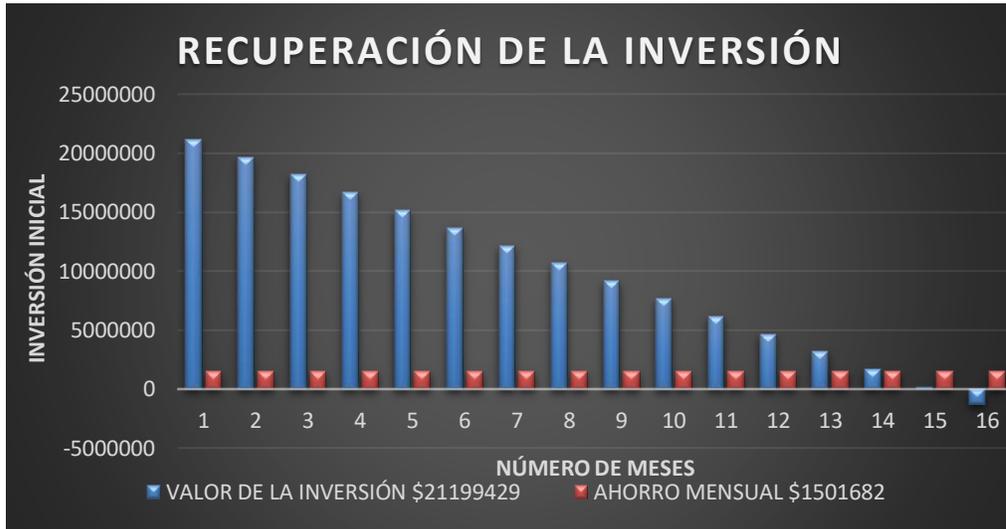
**Tabla 20.** *Cálculo del TIR*

VALOR DE LA INVERSION	-\$ 22.453.429
AHORRO MENSUAL	\$ 1.501.682
AHORRO AÑO 1	\$ 18.020.194
AHORRO MENSUAL	\$ 1.570.749
AHORRO AÑO 2	\$ 18.848.989

INVERSIÓN	-\$ 22.453.429
AÑO 1	\$ 18.020.194
AÑO 2	\$ 18.848.989
TIR	40%

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Fuente:* elaboración propia



**Figura 23.** *Tiempo de recuperación de la inversión*

**Fuente:** elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- La implementación del sistema de iluminación que en este caso se selecciona es el de campana tipo LED de 250 W, que por sus características representa un ahorro económico y eléctrico sustancial y además es amigable con el medio ambiente, ya que los lapsos de intervención y recambio son más largos que los sistemas tradicionales. El sistema de control automático de iluminación se contempla dentro del presupuesto de inversión, ya que su costo no es muy alto y se evita la manipulación constante del encendido de la iluminación por parte del personal de planta.
- Los datos arrojados para el cálculo de la iluminación de la nave industrial, concluyen que la iluminación con luminarias LED es la mejor opción, ya que la cantidad de lúmenes por Watts y la vida útil hacen que este sistema de iluminación sea más eficiente que el tradicional (MH).
- Para el dimensionamiento de la iluminación, es necesario tener en cuenta diferentes factores como el tipo de lugar a iluminar, sus dimensiones y el tipo de actividad comercial. Para este caso, como es una nave industrial y dado el grado de contaminación al que está sometida, se elige un tipo de luminaria (campana LED 250 W) que cumpla con un nivel alto de eficacia lumínica (Lm/W). La cantidad de luminarias calculadas por el método de los lúmenes arroja un valor de 26 luminarias LED con el tipo de luminaria seleccionada (Campana LED industrial 250 W, chip led Osram + MeanWell driver 135 Lm/W) y por medio de software DIALux arroja una cantidad de 30 luminarias, esto debido a que este programa no dejó cargar la marca o referencia de luminaria anteriormente mencionada. El tipo de luminaria que se utilizó para el software DIALux tiene las mismas (PAK-H08-250-840) características de funcionamiento, pero tiene una eficacia lumínica (100 Lm/W) un poco inferior a la utilizada en el método de los

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

lúmenes. La idea de utilizar el software DIALux, es que la cantidad de luminarias calculadas por los dos métodos (Lúmenes y Software) arroja una cantidad aproximadamente igual, y de esta forma comprobar que cualquiera de los dos métodos puede ser usado.

- Para la comparación de costos entre los dos sistemas, el de campanas Metal Halide (tradicional) es más económico en su instalación por el precio de cada luminaria, pero costoso a largo plazo en mantenimiento y consumo de energía, ya que todas suman en total 11,2 kW, mientras que el sistema de luminarias LED suma 6,5 kW y requiere un poco más de inversión, pero a largo plazo representa un gran ahorro económico y energético que en pesos equivale a \$18.020.194 el primer año y \$18.848.989 para el segundo.
- Se realizan los planos de distribución eléctrica, diagrama unifilar, en AUTOCAD 2018 y el dimensionamiento de todos los materiales eléctricos se hace según normas y métodos desarrollados en el curso de Instalaciones Eléctricas Industriales II.
- Aunque en este trabajo no se tiene en cuenta la calidad de la iluminación durante el día por medios no eléctricos como el techo traslúcido, en el futuro se debe tener en cuenta, ya que representa un ahorro adicional de energía y dinero.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

---

- abc. (9 de septiembre de 2013). *Las Lámparas Fluorescentes*. Obtenido de abc Escolar: <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/las-lamparas-fluorescentes-616088.html>
- Academia. (2016). *Tecnología, Programación y Robótica*. Obtenido de EL Diodo LED-Tutorial Arduino: <https://educaendigital.com/el-diodo-led>
- Arturo Morales Castro, J. A. (2009). *Proyectos de inversión, Evaluación y formulación de proyectos*. Mexico, D.F: Mc Graw-Hill.
- Bommel, W. v., & Beld, G. (2004). La iluminación en el trabajo: Efectos visuales y biológicos. *PHILIPS LIGHTING*, 1-6.
- Camino, J. A. (2011). Criterios de diseño en iluminación y color. (*Especialización en higiene y seguridad en el trabajo*). Universidad Tecnológica Nacional, Bueno Aires.
- Castilla C, N. (10 de 11 de 2011). *Google scholar*. Obtenido de Luminotecnia: <https://riunet.upv.es/handle/10251/12833>
- Caveda, E. F. (2013). *Portal de Acceso Abierto al Conocimiento de la UPC*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36601?locale-attribute=es>
- Citcea. (2020). *Cálculo de Instalaciones de Alumbrado*. Obtenido de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>
- Comité Español de Iluminación. (2010). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación*. Madrid, España: IDAE. Obtenido de [https://www.idae.es/sites/default/files/publications/online/231/Oficinas\\_opf\\_files/pdfs/oficinasok2.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/publications/online/231/Oficinas_opf_files/pdfs/oficinasok2.pdf)
- Cortes, D. (2014). *Distribución de Cargas en una Casa Habitación y Administración de la Energía para un Ahorro Económico*. México. D.F.: Instituto Politecnico Nacional.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5589/DISTRIBUCIONCARGAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CREG. (1994). *Distribución de Energía Eléctrica*. Bogotá, Colombia: Comisión Reguladora de Energía y Gas. Obtenido de [creg.gov.co/sistem-interconectado-nacional-sin](http://creg.gov.co/sistem-interconectado-nacional-sin)

CREG. (Mayo de 2008). *Distribución de energía eléctrica-ARIAE*. Obtenido de [https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-05/distribucion\\_energ\\_electrica.pdf](https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-05/distribucion_energ_electrica.pdf)

Dávila Vásquez, J. F. (11 de julio de 2013). *google Académico*. Obtenido de <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/3959>

Electromagnetismo. (2002). En *Enciclopedia Temática Mega Siglo XXI* (pág. 477). Editorial Norma.

ENEL-CODENSA. (8 de 10 de 2012). *LIKInormas*. Obtenido de [https://likinormas.micodensa.com/Especificacion/materiales\\_ap/et845\\_balastos\\_bombillas\\_alta\\_intensidad\\_descarga\\_hid](https://likinormas.micodensa.com/Especificacion/materiales_ap/et845_balastos_bombillas_alta_intensidad_descarga_hid)

Energías renovables. (2018). Colombia despierta a la energía eólica. *Energías renovables. El periodismo de las energías limpias*.

Factor energía. (Agosto de 2020). *Que es la energía solar*. Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/energia-solar/>

FEILO SYLVANIA. (2016-2017). *Iluminación Eficiente*. Obtenido de <https://www.nalelectricos.com.co/archivos/Nacional-de-electricos-catalogo-Sylvania-Iluminacion-Eficiente.pdf>

Finder. (2018). *Switch to the Future*. Obtenido de Interruptor horario 16 A: <http://eytsa.com/wp-content/uploads/2018/09/serie-12.pdf>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

grlum. (2014). *Sistemas de Iluminación*. Obtenido de Fuentes de Luz y Equipos Auxiliares: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaVaporMercurioAltaPresion.php>

Guzman Electricidad. (2020). *Catalogo de precios*. Obtenido de Contactor bipolar 20A BOB. 220V 2NA CHINT: <https://www.guzman.cl/control-y-comando/10743-contactor-bipolar-20a-bob-220v-2na-chint.html>

Juares, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. Mexico D.F.: Sans Serif Editores.

Kosow, I. (1993). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. Prentice Hall.

Kosow, I. L. (1993). *Máquinas Electricas y Transformadoras. Máquinas Electricas y Transformadoras*. Mexico: Prentice-Hall.

Kosow, I. L. (1993). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. Prentice Hall.

LEDBOX. (3 de 8 de 2021). *LEDBOX*. Obtenido de <https://cdn.manomano.com/files/pdf/8889615.pdf>

Lopez, M., Hernandez, J., Barroso, F., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2018). Estudio de las tecnologías para la recuperacion, reuso, reciclaje y/o disposición final de las lamparas y bombillas fluorescentes. *Jornadas de investigación JIFI 2018. Encuentro académico indstrial*. Universidad Experimental Marítima del Caribe, Caracas.

Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Bogotá.

Ministerio de Minas y Energía. (30 de agosto de 2013). *ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Naciones Unidas CEPAL. (4 de 11 de 2021). *Rio+20 el futuro que queremos*. Obtenido de <https://www.cepal.org/rio20/es/index>

Nalelectricos. (2020). *Nalelectricos.com*. Obtenido de Catálogo de protección industrial: <https://www.nalelectricos.com.co/archivos/Catalogo-Proteccion-Industrial-Legrand815.pdf>

Perales, T. (2012). *El universo de las energías renovables*. barcelona, España: Marcombo.

Poveda Ramos, G. (Diciembre de 2003). *Google Scholar*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/430/43003013.pdf>

RETIE INGENIERÍA Y GESTIÓN. (17 de 07 de 2020). *¿QUÉ ES EL RETIE?, Y POR QUÉ ES OBLIGATORIA LA NTC 2050*. Obtenido de RETIE INGENIERÍA Y GESTIÓN: <https://www.retieingenieriaygestion.com/que-es-el-retie/>

Rosas, R. M. (2002). *Protección de sistemas eléctricos de potencia*. Obtenido de [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=64PKPK-LiFEC&oi=fnd&pg=PA7&dq=proteccion+contra+corrientes+de+cortocircuito&ots=Ifu3VywjXv&sig=7CIq8JYtE\\_etlnyhI3HQQJBAI4Q&redir\\_esc=y#v=onepage&q=proteccion%20contra%20corrientes%20de%20cortocircuito&f=true](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=64PKPK-LiFEC&oi=fnd&pg=PA7&dq=proteccion+contra+corrientes+de+cortocircuito&ots=Ifu3VywjXv&sig=7CIq8JYtE_etlnyhI3HQQJBAI4Q&redir_esc=y#v=onepage&q=proteccion%20contra%20corrientes%20de%20cortocircuito&f=true)

SCHNEIDER ELECTRIC. (febrero de 2008). *Guía de Diseño de Instalaciones Eléctricas*. Obtenido de <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/946/946-guia-instalaciones-electricas-2008-s.e.pdf>

Serbán, N. B. (1995). *Instalaciones Eléctricas, Conceptos Básicos y Diseño 2a. Edición*. México, D.F.: Alfaomega.

Siemens. (2019). *Catalogo de baja tensión, control y distribución*. Obtenido de Siemens.com.co: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1558630273.abc2a126-c0a4-4370-a14e-9c5231ab45f4.catalogobajatension2019mx019v1-0.pdf>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Steren. (8 de septiembre de 2020). *Medidor digital de luminosidad*. Obtenido de luxometro: <https://www.steren.cr/medidor-digital-de-luminosidad-luxometro.html>

SYLVANIA. (2016). *Sylvania catalogo 2016- 2017*. Obtenido de Nacional-de-electricos-catalogo-Sylvania-Iluminacion-Eficiente.pdf

Tama, A. (2018). *Sector Electricidad*. Obtenido de <https://www.sectorelectricidad.com/20860/las-perdidas-de-energia-electrica/>

*Tipos de iluminación, sus estilos y clasificación*. (10 de junio de 2021). Obtenido de <https://fesiluz.com/tipos-de-iluminacion-sus-estilos-y-clasificacion>

Vortex Bladeless. (17 de Noviembre de 2018). *Energá eólica sin palas*. Obtenido de Vortex Bladeless: <https://vortexbladeless.com/es/>

XM. (3 de Octubre de 2019). *Sistema de transmisión nacional (STN)*. Obtenido de XM: <https://www.xm.com.co/Paginas/Transmision/sistema-de-transmision-nacional.aspx>

Young, F., & Sears, Z. (2009). *Física Universitaria con Física Moderna, volumen 2*. Mexico: Pearson.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# ANEXOS

**Ficha técnica**  
 Campana LED industrial 250W, chip led Osram + MeanWell driver





### Campana LED industrial 250W, chip led Osram + MeanWell driver

Luminaria compacta para iluminación industrial profesional y de máxima garantía. Proyector LED de alta potencia y eficiencia diseñado para talleres, fábricas, almacenes... Con chip led Osram y driver led MeanWell. Incluye reflector de 90º de alta calidad con diseño óptico que optimizan la proyección de la luz.

[Ver ficha online](#)



#### ESPECIFICACIONES

#### DETALLES

- **Chip LED Osram SMD3030** de última generación que proporciona hasta 135lm/W. Ofrece hasta un 20-30% más de luminosidad que los chip led tradicionales.
- **Driver led MeanWell.** La máxima calidad para una alimentación profesional y con todas las medidas de seguridad que garantizan un mejor funcionamiento y vida útil del led.
- **Reflector de alta calidad** que consiguen los mejores efectos de iluminación así como un índice reverberación de más del 90% gracias al uso de la alta tecnología y a un planteamiento profesional. Preciso diseño del ángulo de reverberación y un proceso de producción cuidado al detalle. Con un diseño óptico que minimizan los reflejos y optimizan la proyección de la luz al máximo.
- **Exclusivo diseño del disipador** y mejorado sistema de ventilación. la estructura térmica de la luminaria del interior y del exterior junto con el conducto de ventilación forman un espacio en 3D que al unirse son la combinación perfecta para una mejor disipación del calor.

Proyectores led con la mejor calidad del mercado que garantizan una larga vida de funcionamiento en cualquier situación. La tecnología LED en alumbrado industrial es la inversión más rentable. Proporciona un gran ahorro de energía, larga vida de uso y una drástica reducción de costes de mantenimiento y reemplazo en luminarias. Las nuevas campanas led están construidas con materiales de alta calidad y cumplen todas las certificaciones europeas. Su gran potencia, reducida emisión de calor y su alta protección IP permiten las hace ideales para cualquier tipo de ambientes.

#### Aplicaciones:

Especialmente eficaz en talleres, fábricas, almacenes, naves industriales, estaciones de peaje de autopistas, gasolineras, parkings, supermercados, salas de exposiciones, gimnasios.

#### Materiales:

Con reflector de aluminio anodizado. Diseño exclusivo y

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### Ficha técnica

Campana LED industrial 250W, chip led Osram + MeanWell driver

LEDBOX®

patentado con disipador de calor de aluminio de gran capacidad. Proyector LED de alta potencia y eficiencia.

silenciosas sin contaminación acústica.

#### Características:

1. Disipador de calor con un diseño único y exclusivo que garantiza una temperatura de la lámpara constante y le proporciona una larga vida útil y una potencia invariable.
2. Gran ahorro energético. Comparando este proyector LED con una lámpara de sodio el ahorro puede ser de hasta un 66%
3. Producto verde, sin contaminación, sin plomo, mercurio, elementos de la contaminación. 99% reciclable.
4. Gran calidad en el color. No distorsiona los colores reales de los objetos que ilumina.
5. Fuente de alimentación de corriente constante **Meanwell driver**, de alta eficiencia para un ancho de tensión (AC85V-265V). Lámparas

#### Especificaciones:

- Eficacia lumínica: 110-115 Lm /W
- Índice de deslumbramiento unificado UGR: ≤19
- Angulo de apertura: Incluye reflector de aluminio de 90°. Posibilidad de selección entre otros reflectores de 45°, 60° y 120°
- Eficiencia: >87 %
- Iluminación uniforme:>0.5
- Índice de rendimiento de color: Ra>75
- Distribución de la luz: simétrico / rounde
- Diseño de la luminaria: LED + difusor
- Temperatura de la unión LED:≤80°
- Temperatura de trabajo:-40° C ~ 55°
- Temperatura de almacenaje: -25°C ~ +65°
- Protección IP: IP65
- Vida útil: 50000 Horas
- Certificado: CE

 <b>Institución Universitaria</b>	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



## MH-NaSc

### MH 400W/640 E40 CL U 1SL/6

Lámparas de haluro metálico de escandio sodio compuestas por una lamparita de vidrio rellena con gas, que pueden ser transparentes o con revestimiento interno, y un tubo de descarga de cuarzo (DT).

#### Datos del producto

<b>Funcionamiento de emergencia</b>	
Tapa y base	E40 (E40)
Vida útil para fallas del 50 % (nominal)	20000 h
<b>Rendimiento inicial (conforme con IEC)</b>	
Código de color	640 [ CCT de 4.000 K]
Flujo luminoso (promedio) (mín.)	34000 lm
Flujo luminoso (promedio) (nominal)	39000 lm
Designación de color	Bianco frío (CW)
Conservación del flujo luminoso de 2000 h (nominal)	85 %
Coordenada de cromaticidad X (nominal)	390
Coordenada de cromaticidad Y (nominal)	400
Temperatura de color correlacionada (nominal)	3900 K
Eficiencia lumínica (promedio) (nominal)	97.5 lm/W
Índice de reproducción de color (Nom)	60
<b>Mecánicas y de carcasa</b>	
Potencia (promedio) (máx.)	440.0 W
Potencia (promedio) (mín.)	- W
Power (Rated) (Nom)	400.0 W
Ejecución de corriente de la lámpara (máx.)	5 A
Corriente de la lámpara (EM) (nominal)	3.25 A
Voltaje del suministro de arranque (máx.)	198 V
Voltaje del suministro de arranque (mín.)	198 V

Tiempo de arranque (máx.)	12.0 s
Voltaje (máx.)	190 V
Voltaje (mín.)	120 V
Voltaje (nominal)	115 V
<b>Controles y regulación</b>	
Con regulación de intensidad	No
<b>Datos técnicos de la luz</b>	
Acabado del foco	Transparente
Forma del foco	ED120 (ED 120 mm)
<b>Aprobación y aplicación</b>	
Contenido de mercurio (Hg) (nominal)	35 mg
Consumo de energía kWh/1000 h	440 kWh
<b>Requisitos de diseño de luminaria</b>	
Temperatura del foco (máx.)	400 °C
Temperatura de tapa y base (máx.)	210 °C
<b>Datos de producto</b>	
Código del producto completo	87150079919310
Nombre del producto de pedido	MH 400W/640 E40 CL U 1SL/6
EAN/UPC producto	8715007991931

Sección

BB

INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS

**EAT-N**  
Powering Business Worldwide

Interruptores Termomagnéticos Tipo CH

## Interruptores Termomagnéticos Enchufables Tipo CH 3/4"

### Descripción

Los interruptores termomagnéticos del tipo CH enchufables son mecanismos diseñados para protección de líneas y equipos eléctricos.

### Características

- Garantía de Calidad de por vida 1, 2 y 3 polos.
- Capacidad interruptiva de 10 KA, amperaje nominal de 10 -100 A.
- 120/240 VCA protección contra sobrecarga y corto circuito.

### Aplicaciones

Se instalan en los centros de carga CH, para protección de las líneas y equipos eléctricos contra corto circuito o sobrecarga sostenida.

### Normas

Cumplen con NMX-J-515-19994-ANCE y UL 489.

Catálogo	Polos	Amperes	Voltaje	Dimensiones
CH115	1	15	120/240 V	Ancho=19.1 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH120	1	20	120/240 V	
CH130	1	30	120/240 V	
CH140	1	40	120/240 V	Ancho= 38.2 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH150	1	50	120/240 V	
CH215	2	15	120/240 V	
CH220	2	20	120/240 V	Ancho= 38.2 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH230	2	30	120/240 V	
CH240	2	40	120/240 V	
CH250	2	50	120/240 V	Ancho= 57.3 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH260	2	60	120/240 V	
CH270	2	70	120/240 V	
CH2100	2	100	120/240 V	Ancho= 57.3 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH2125	2	125	120/240 V	
CH2150	2	150	120/240 V	
CH315	3	15	120/240 V	Ancho= 57.3 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH320	3	20	240 V	
CH330	3	30	240 V	
CH340	3	40	240 V	Ancho= 57.3 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH350	3	50	240 V	
CH360	3	60	240 V	
CH370	3	70	240 V	Ancho= 57.3 mm Alto= 85.9 mm Fondo= 76.2 mm
CH380	3	80	240 V	
CH390	3	90	240 V	
CH3100	3	100	240 V	



**Nota:** Todos los interruptores tipo CH para utilizar en centros de carga CH tableros O-P & P-0. Se venderán en múltiplos de 10 Unidades los de 1 polo y 5 unidades los de 2 & 3 polos.

## Interruptores Termomagnéticos Tipo CH con Falla a Tierra

### Descripción

Los interruptores termomagnéticos con protección de falla a tierra (GF) están diseñados para proteger a las personas contra riesgos potenciales de falla a tierra en equipos defectuosos y herramientas portátiles.

### Aplicaciones

Se recomienda su uso en contactos residenciales a la intemperie, cocinas, cuartos de baño y en lugares cercanos (NEC, National Electric Code)

### Características

- Cuentan con interruptores termomagnéticos con un circuito electrónico con detector de fugas que dispara al interruptor.
- Certificación NEC 120/240 V 1-2 polos 15-50 A.

### Normas

Cumplen con NMX-J-515-19994-ANCE y UL 489.



Catálogo	Polos	Amperes	Voltaje	Dimensiones
CHFGT115	1	15	120/240V	Ancho=19.1 mm
CHFGT120	1	20	120/240V	Alto= 85.7 mm
CHFGT130	1	30	120/240V	Fondo=101.6 mm
CH215F	2	15	120/240V	Ancho=38.2 mm Alto= 85.7 mm Fondo= 101.6 mm
CH220F	2	20	120/240V	
CH230F	2	30	120/240V	
CH240F	2	40	120/240V	Ancho=38.2 mm Alto= 85.7 mm Fondo= 101.6 mm
CH250F	2	50	120/240V	

## Interruptores Termomagnéticos Tipo CH con Falla de Arco

### Descripción

Los interruptores con protección de falla de arco son dispositivos que están diseñados para proteger equipos delicados y sensibles a las variaciones de voltaje y corriente.

### Características

- Protección térmica protección por falla de Arco.
- Protección Magnética Capacidad de Corto Circuito 10KA.
- Cumplen con la certificación UL1699.

### Aplicaciones

Se recomienda su uso en contactos residenciales a la intemperie,

cocinas, cuartos de baño y en lugares cercanos a albercas o expuestos al contacto con agua.

### Normas

Cumplen con la certificación UL 1699.

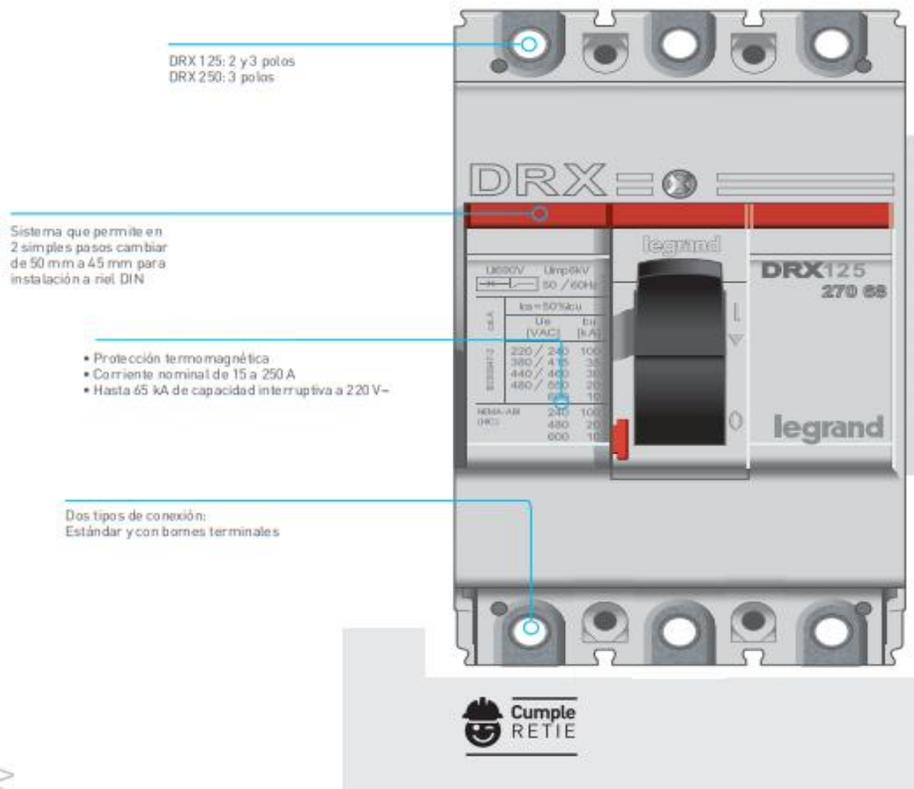


Catálogo	Polos	Amperes	Voltaje	Dimensiones
CH115AF	1	15	120/240V	Ancho=19.1 mm Alto=85.7 mm Fondo=101.6 mm
CH120AF	1	20	120/240V	
CH150AF	1	15	120/240V	
CH220AF	2	20	120/240V	

# INTERRUPTORES DRX 125 Y DRX 250

La solución universal  
en protección

Los interruptores termomagnéticos tipo caja moldeada DRX, se integran perfectamente a las instalaciones eléctricas, por su flexibilidad y adaptabilidad en los diferentes sistemas y aplicaciones residenciales, institucionales e industriales.



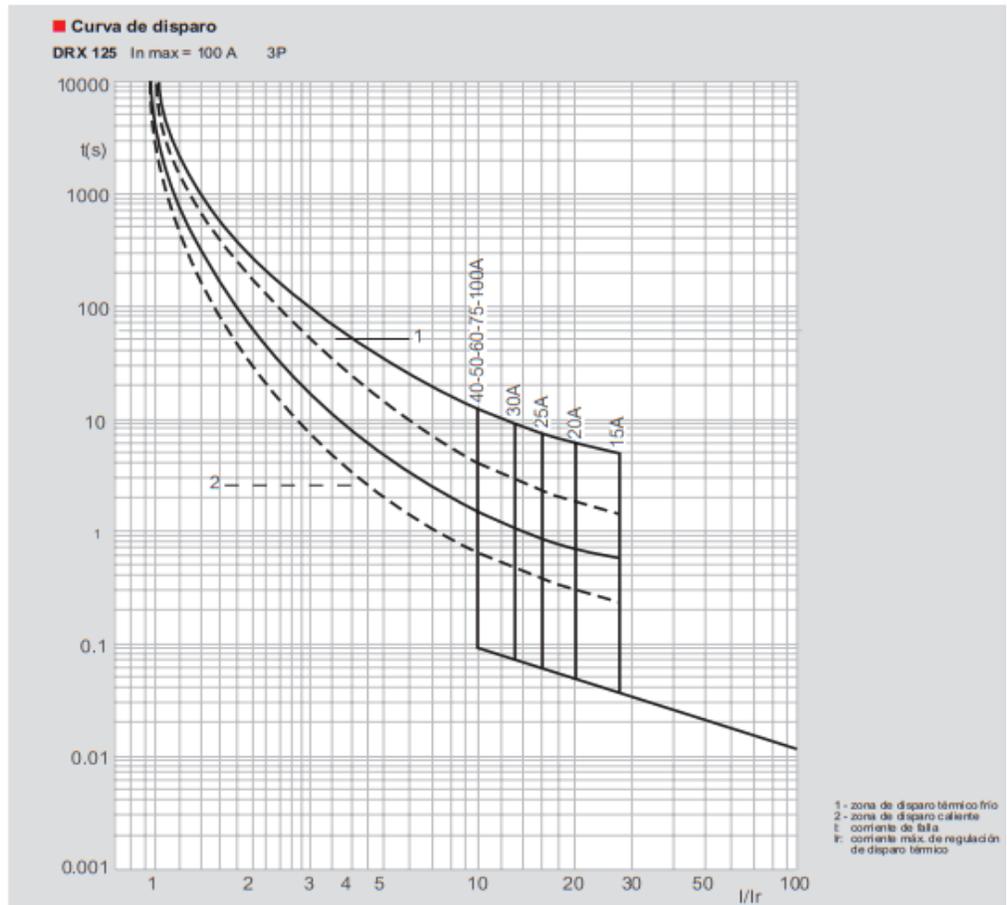
Activar  
Ve a Configuración

CATALOGO PROTECCIÓN INDUSTRIAL | INTERRUPTORES DRX



**DRX™ 125**

características técnicas y curvas



**■ Características técnicas**

	DRX - 25 kA	DRX - 65 kA	DRX - 65 kA
Número de polos	3P	3P	3P
Corriente nominal In (A)	15-125	15-125	15-100
Voltaje de aislamiento Ui (V)	690	690	690
Resistencia máxima a la sobretensión Uimp (kV)	6	6	6
Voltaje máximo de operación (60 Hz) Ue (V)	600	600	600
220/240 V ~	25	65	60
277 V ~	-	-	50
380/415 V ~	10	35	36
440/480 V ~	10	30	30
Capacidad Interruptiva (kA)	7.5	20	20
IEC 60947-2	600 V ~	5	30
	125 V ~	5	10
	250 V ~	5	10
Capacidad Interruptiva (kA)	240 V ~	25	65
(kA)	480 V ~	7.5	20
NEMA AB-1	600 V ~	5	30
Capacidad Interruptiva de servicio Ics (% Ics)	50	50	50
Categoría de utilización	A	A	A
Recomendable para aislación	SI	SI	SI
Vida útil (ciclos)	mecánica	25000	25000
	eléctrica a In	8000	8000
	eléctrica a 0.5 In	10000	10000

Activar V  
 Ve a Config

CABLES  
THHN/THWN-2 RoHS  
600 V 90°C



Conductor		Espesor Aislamiento	Espesor Cubierta	Resistencia DC a 20 °C	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Ampacidad <sup>(1)</sup>
Calibre	Área						
AWG / kcmil	mm <sup>2</sup>	mm	mm	Ω/km	mm	kg/km	A
14	2,1	0,38	0,10	8,440	2,91	24,3	25
12	3,3	0,38	0,10	5,310	3,38	36,6	30
10	5,3	0,51	0,10	3,340	4,24	58,3	40
8	8,4	0,76	0,13	2,100	5,53	96,1	55
6	13,3	0,76	0,13	1,320	6,47	145,7	75
4	21,2	1,02	0,15	0,832	8,23	233,1	95
2	33,6	1,02	0,15	0,523	9,72	356,4	130
1/0	53,5	1,27	0,18	0,329	12,03	558,1	170
2/0	67,4	1,27	0,18	0,261	13,12	692,8	195
3/0	85,0	1,27	0,18	0,207	14,35	861,9	225
4/0	107,0	1,27	0,18	0,164	15,74	1074,2	260
250	127,0	1,52	0,20	0,139	17,86	1281,5	290
350	177,0	1,52	0,20	0,099	20,46	1784,7	350
500	253,0	1,52	0,20	0,069	23,73	2484,6	430

Nota: Los datos aquí registrados son nominales y están sujetos a tolerancias según las normas y las prácticas normales de fabricación. Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo, están disponibles bajo pedido.

(1) No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrado, temperatura ambiente 30°C, temperatura conductor 90°C.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES

*Robinson*

*F. Cojuna*

*Joan*

FIRMA ASESORES

FECHA ENTREGA: julio 21 de 2022