



**Diseño e implementación de
alumbrado con bombillas tipo Led
bajo los requisitos exigidos por
RETILAP en la Casa Máquinas –
Unidades Principales – Estación
Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.**

Fernán David Osorio González

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena de Indias, Colombia

2023

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

Fernán David Osorio González

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

Director (a):

Ing. Rubén Darío Cuadrado Martínez

Línea de Investigación:

Energía Renovable.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena de Indias, Colombia

2023

*A Dios por su inmenso amor,
A mi mamá, por su constancia en finalizar mis estudios,
A mi esposa por su incondicional apoyo,
A mis Hijos por ser mis motores,
A mi papá con todo el corazón.*

Agradecimientos

- 1.1 Agradezco a Dios la oportunidad de llegar a este importante logro con esfuerzo y dedicación motivado por la necesidad de superación con el deseo de aportar al desarrollo de la industria.
- 1.2 Agradezco a mi mamá y a mi esposa y mis hijos por el incondicional apoyo que recibí, a los docentes de la facultad de ingeniería electromecánica de la universidad Antonio Nariño que con su paciencia y entusiasmo aportaron al buen resultado de mi aprendizaje.
- 1.3 Agradezco a la empresa Consorcio SKF-OMIA por el importante apoyo a través de la Coordinadora de Mantenimiento quien ha creído en este importante aporte para la gestión de actualización de tecnología en los activos de CENIT.
- 1.4 A los Ingenieros Bashir Yacub Bermúdez y Rubén Darío Cuadrado, de la Facultad Universidad Antonio Nariño, por su colaboración y apoyo para el desarrollo del proyecto.

Resumen

Este proyecto se lleva a cabo con el diseño y la ejecución de una propuesta de mejora con iluminación tipo LED en el área de casa máquinas estación Vasconia, Cenit – Puerto Boyacá, con el fin de garantizar los niveles de iluminancia adecuados para un ambiente de trabajo seguro y eficiente, teniendo en cuenta la normativa técnica de iluminación (RETILAP).

En la fase inicial se analiza el sistema de iluminación, donde ubicamos las posiciones actuales de las luminarias, características y estado físico; se procede a tomar los niveles actuales de iluminancia emitidos por la iluminación con el uso de equipo Luxómetro, con base a la información recopilada se realizan los cálculos, diseño y estudio para realiza la propuesta técnico-económica donde se incluyen la alternativa para solución con su respectivo presupuesto a todo costo.

Finalmente se realizará la implementación de la actualización de tecnología en el área, bajo las simulaciones de funcionamiento por medio del cual se obtendría las variables fotométricas bajo la norma ISO 8995, teniendo en cuenta la normativa técnica de Iluminación (RETILAP) y los valores permitidos para el deslumbramiento (UGR).

Adicional partiendo del análisis de los resultados obtenidos y en mira de aportar en el Uso racional y eficiente de energía, se impulsa a esta iniciativa del cambio de la iluminación a Led, aportando en la reducción de la huella de carbono con un ahorro de 40% de Kg CO₂eq.

Palabras clave: Diseño de iluminación, luminaria, alumbrado Industrial, Flujo luminoso, iluminación Led, deslumbramiento.

Abstract

This project is carried out with the design and execution of an improvement proposal with LED lighting in the area of the Vasconia station machine house, Cenit - Puerto Boyacá, in order to guarantee adequate illuminance levels for a work environment. safe and efficient, taking into account the technical lighting regulations (RETILAP).

In the initial phase, the lighting system is analyzed, where we locate the current positions of the luminaires, characteristics and physical state; We proceed to take the current levels of illuminance emitted by the lighting with the use of Luxometer equipment, based on the information collected, the calculations, design and study are made to carry out the technical-economic proposal where the alternative for solution with its respective budget at all costs.

Finally, the implementation of the technology update in the area will be carried out, under the operation simulations through which the photometric variables would be obtained under the ISO 8995 standard, taking into account the technical lighting regulations (RETILAP) and the values allowed for glare (UGR).

Additionally, based on the analysis of the results obtained and with a view to contributing to the rational and efficient use of energy, this initiative to change lighting to Led is promoted, contributing to the reduction of the carbon footprint with a saving of 40%. of Kg CO₂eq.

Keywords: Lighting design, luminaire, Industrial lighting, Luminous flux, Led lighting, glare.

Contenidos

Resumen	IX
Lista De Tablas.....	XV
Tabla De Ilustraciones	XVI
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVII
Introducción.....	19
Capitulo 1 Planteamiento del Problema.....	22
Capitulo 2 Justificación.....	24
Capitulo 3 Objetivos	25
3.1 Objetivo General.....	25
3.2 Objetivos Específicos	25
3.3 Alcance.....	26
Capitulo 4 Marco Teórico	27
4.1 1.1 Definiciones.....	28
4.2 1.2 Niveles de Iluminación o Luminancia.....	33
4.3 1.3 Reflectancias efectivas de las superficies	36
4.4 1.4 Sistemas de Iluminación	38
4.5 1.4.1 Clasificación según la Fuente de Iluminación	38
4.6 1.4.2 Clasificación de las Luminarias según la Función.....	39

4.7	1.5 Especificaciones técnicas de las Luminarias	41
4.8	1.5.1 Flujo Luminoso.....	41
4.9	1.5.2 Índice de rendimiento Cromático (IRC)	41
4.10	1.5. 3 Temperatura de Color	42
4.11	1.6 Tipos de Lámparas	43
4.12	1.6.1 Lámparas de Vapor de mercurio.....	43
4.13	1.6.2 Lámparas de Aditivos Metálicos	44
4.14	1.6.3 Lámparas de Vapor de sodio de alta presión	45
4.15	1.6.4 Tecnología LED.....	46
4.16	1.7 Deslumbramiento	47
4.17	1.7.1 Consecuencias del deslumbramiento	47
4.18	1.7.2 Cómo evitar el deslumbramiento.....	48
Capitulo 5 Diagnóstico de Condiciones de Iluminación		49
5.1	2.1 Nivel de Iluminación en área Casa Maquinas	49
5.2	2.1.1 Calcular el índice de local (K).....	50
5.3	2.1.2 Calcular el número mínimo de puntos (N)	50
5.4	2.1.3 Calcular el nivel de iluminación promedio.....	53
5.5	2.1.4 Calcular la uniformidad	53
Capitulo 6 Diseño del sistema de Iluminación		54
6.1	3.1 Análisis del proyecto	55
6.2	3.2 Definir parámetro Local.....	55
6.3	3.3 Seleccionar iluminación Media.....	55
6.4	3.4 Seleccionar Lampara – Luminaria.....	55
6.5	3.5 Plano de trabajo	56
6.6	3.6 Calcular Cavidad del local (K).....	56

6.7	3.7 Determinar el coeficiente de iluminación (CU).....	58
6.8	3.8 Calcular Factor de Mantenimiento (FM).....	59
6.9	3.9 Flujo luminoso total requerido (ϕ_{tot}).....	60
6.10	3.10 Calcular número de luminarias requeridas (N).....	61
6.11	3.11 Calcular Flujo Luminoso real (Φ real) e iluminancia promedio real (Eprom). 62	
6.12	3.12 Calcular valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).	63
6.13	3.13 Implementación del Diseño.....	64
6.14	3.13.1 Análisis del Proyecto	64
6.15	3.13.2 Parámetros del local.	64
6.16	3.13.3 Seleccionar Iluminancia media	65
6.17	3.13.4 Selección Conjunto lámpara-luminaria	65
6.18	3.13.5 Cavidad del local K.....	66
6.19	3.13.6 Coeficiente de utilización (CU).....	68
6.20	3.13.7 Factor de mantenimiento (FM)	68
6.21	3.13.8 Flujo luminoso total requerido (ϕ_{tot}).....	69
6.22	3.13.9 Número de luminarias requeridas (N)	69
6.23	3.13.10 Flujo Luminoso real (Φ real) e iluminancia promedio real (Eprom).....	70
6.24	3.13.11 Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).....	70
6.25	3.14 Diseño de la instalación de iluminación del área ilustrado por Software DIALux 71	
Capítulo 7 Implementación de la Tecnología LED.....		72
7.1	4.1 Descripción de los equipos Utilizados	72
7.2	4.1.1 Analizador de calidad de Energía	72
7.3	4.1.2 Luxómetro	73
7.4	4.1.3 Pinza Amperimétrica	74
7.5	4.2 Actualización de Tecnología LED.....	74
7.6	4.2.1 Analizador de Redes.....	77

7.7	4.2.2 Costos de implementación del Proyecto	79
7.8	4.3 Relación costo beneficio al implementar la actualización de tecnología	81
7.9	4.4 Calcular la reducción de la huella de carbono	83
7.10	4.4.1 Calculo para el consumo CO2 eq con luminarias Tipo Sodio.....	84
7.11	4.4.2 Calculo para el consumo CO2 eq con luminarias Tipo LED.....	84
Capítulo 8	Conclusiones y recomendaciones	85
8.1	5.1 Conclusiones.....	85
8.2	5.2 Recomendaciones	86
Capítulo 9	Referencias Bibliográficas.....	87
Capítulo 10	Anexos	89

Lista De Tablas

Tabla 4-1 Niveles de iluminancia aceptados para áreas y actividades	34
Tabla 4-2 Criterios de valorización	35
Tabla 4-3 Valores de reflectancia	37
Tabla 4-4 Tipos de fuentes de luz artificial, y sus características	38
Tabla 4-5 Iluminación General.....	40
Tabla 4-6 índice de rendimiento cromático.....	41
Tabla 6-1 Tabla de CU- Tabla de Factores de Utilización, suministrada por el fabricante de la luminaria.....	58
Tabla 6-2 Valores de la FM sugeridos por la CIE	60
Tabla 6-3 Valores de VEEI máximos permitidos	63
Tabla 6-4 Factor de mantenimiento	69
Tabla 7-1 Costos totales para la ejecución del proyecto	80

Tabla 7-2 Consumo Iluminación Tipo sodio y LED	82
Tabla 7-3 Proyección de ahorro por cambio de iluminación	83
Tabla 7-4: Calculo para el consumo CO2	84

Tabla De Figuras

Figura 4-1 Longitudes de onda	42
Figura 4-2 Lampara vapor de Mercurio	43
Figura 4-3 Lampara de aditivos metálicos	44
Figura 4-4 Lampara de vapor de sodio de alta presión	45
Figura 4-5 Lampara de tecnología LED	46
Figura 5-1 Punto de medición del área casa maquinas	52
Figura 5-2 Mediciones área casa maquinas punto de ejecución proyecto	52
Figura 6-1 Distancia y Cavidades del local	57
Figura 6-2 Tipo de luminaria y diagrama polar de la distribución luminosa	66
Figura 6-3 Dimensiones de la caseta maquinas	67
Figura 6-4 Dimensiones del área original	67
Figura 6-5 Coeficiencia de utilización sylvania	68
Figura 6-6 Diseño con iluminación DIALux	71
Figura 7-1 Características de las luminarias LED	75

Figura 7-2 Desmantelamiento de luminarias tipo sodio.....	75
Figura 7-3 Conexión e instalación de luminarias tipo LED.....	76
Figura 7-4 Valores de medición del área con la actualización de tecnología de iluminación LED.....	76
Figura 7-5 Implementación del proyecto en el área Casa Maquinas-Cenit.....	77
Figura 7-6 Curvas tensiones de fase típicas del sistema.....	78
Figura 7-7 Curvas corrientes de fase típicas del establecimiento	78
Figura 7-8 Curvas consumo de fase típicas del establecimiento.....	79

Lista de Símbolos y abreviaturas

De la siguiente lista algunas abreviaturas se toman de referencia de la sección 120.1 del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Definición
A	Amperios.	Intensidad de Corriente Eléctrica.
°C	Grados Celsius.	Temperatura Termodinámica.
CU	Coeficiente de utilización	Relación del Flujo Luminoso

Símbolo	Término	Definición
Hz	Hercio.	Frecuencia.
Lm	Lúmenes.	Flujo Luminoso.
Lx	Lux	Iluminancia
M	Metro	Longitud.
M²	Metro Cuadrado	Área.
E	Iluminancia	Densidad del Flujo Luminoso
IRC	Índice de reproducción cromática	Propiedades de una fuente de Luz.
K	Kelvin	Temperatura Termodinámica.
URG	Índice de Deslumbramiento Unificado	Forma de evaluar y comparar el deslumbramiento de la Fuente.
V	Voltio	Potencial Eléctrico o Tensión.
W	Vatios	Potencia Eléctrica.
Kwh	Kilovatio -Hora	Electricidad Consumida en una hora.
CO2 eq	Dióxido de Carbono	Medida para emisión de gases.

Introducción

Durante el año 2009 el ministerio de minas y energías se encargó de expedir un reglamento de iluminación y alumbrado público, conforme a la resolución 18.1331, en vigencia al 01 de abril de 2010 con la resolución 15.0540. Teniendo en cuenta los requisitos establecidos para el diseño y los niveles de iluminancia, se puede realizar la implementación del presente proyecto radicado en dar solución inmediata a la problemática del déficit de iluminación presente en el área caseta maquinas Cenit de la estación Vasconia, Puerto Boyacá.

En general, se deben considerar aspectos como la eficiencia energética, la calidad de la luz, la seguridad y el rendimiento visual. Estos requisitos deben ser cumplidos para garantizar una iluminación adecuada y segura en los espacios interiores y exteriores. Algunos de los aspectos específicos que se deben tener en cuenta incluyen la selección de equipos de iluminación adecuados, la ubicación y disposición de las luminarias, los niveles de iluminación adecuados para cada espacio en particular, entre otros. Es importante tener en cuenta estos requisitos durante el diseño y la construcción de los sistemas de iluminación, con el fin de garantizar su eficacia y cumplimiento normativo.

En reuniones constantes entre el grupo de operaciones y el área de mantenimiento se menciona el déficit de iluminación del área, este hallazgo en la estación representa un riesgo potencial para la seguridad de trabajadores aún más cuando el área no cumple con las especificaciones dadas en la norma ISO-8995, RETILAP y demás normas técnicas colombianas para sus labores de inspección y operación en áreas internas.

Con el desarrollo de este proyecto, la incorporación de la tecnología tipo led proporciona las siguientes ventajas: Cumplir con la norma establecida bajo el reglamento del RETILAP, la norma ISO 8995 y el RETIE, de esta manera se pueden mejorar las condiciones laborales de los operadores el reducir el esfuerzo visual continuo y prevenir futuras enfermedades profesionales que puedan presentarse al continuar con las condiciones actuales de trabajo; adicional al implementar el proyecto se aporta en la reducción de la huella de carbono implementando el uso racional y eficiente de energía en la iluminación, al minimizar el consumo energético con la implementación de la tecnología Led. Por tal razón el objetivo principal está basado en Diseñar e implementar la propuesta de mejora en la actualización de tecnología, área de casa maquinas Unidades principales Cenit, utilizando iluminación tipo LED cumpliendo con los requisitos exigidos por el RETIE, RETILAP y la norma ISO 8995 en la estación Vasconia - Cenit.

El proyecto por ejecutar contempla visita al área donde identificaremos las condiciones de la iluminación, tipo y características de las luminarias utilizadas en el área, verificación por diseño de la ubicación actual de las luminarias instaladas en el área; medición de los niveles de iluminación y estudio del riesgo por iluminación.

Por ende, es importante calcular los niveles de flujo luminoso para el diseño y simulación mediante el uso de software dialux. Se llevarán a cabo los procesos de ingeniería e implementación de planos con apoyo de software (AutoCAD). Bajo los requisitos exigidos por el RETIE y la Norma NTC-2050. La Implementación del proyecto de iluminación con bombillas tipo led, estará a cargo de la empresa Consorcio SKF-OMIA para la filial CENIT. (ONAC, 2016)

Este proyecto se lleva a cabo con el diseño y la ejecución de una propuesta de mejora con iluminación tipo LED en el área de casa máquinas estación Vasconia, Cenit – Puerto Boyacá, con el fin de garantizar los niveles de iluminancia adecuados para un ambiente de trabajo seguro y eficiente, teniendo en cuenta la normativa técnica de iluminación (RETILAP)

Cabe resaltar que la actual iluminación no cumple con los niveles de iluminancia requeridos bajo las normas colombianas vigentes, por lo que se requieren diferentes fases para dar solución al problema.

En la fase inicial se analiza el sistema de iluminación, donde ubicamos las posiciones actuales de las luminarias, características y estado físico; se procede a tomar los niveles actuales de iluminancia emitidos por la iluminación con el uso de equipo Luxómetro, con base a la información recopilada se realizan los cálculos, diseño y estudio para realiza la propuesta técnico-económica donde se incluyen la alternativa para solución con su respectivo presupuesto a todo costo.

Finalmente se realizará la implementación de la actualización de tecnología en el área, bajo las simulaciones de funcionamiento por medio del cual se obtendría las variables fotométricas bajo la norma ISO 8995, teniendo en cuenta la normativa técnica de iluminación (REILAP) y los valores permitidos para el deslumbramiento (UGR).

Adicional partiendo del análisis de los resultados obtenidos y en mira de aportar en el Uso racional y eficiente de energía, se impulsa a esta iniciativa del cambio de la iluminación a Led, aportando en la reducción de la huella de carbono con un ahorro de 40% de Kg CO₂eq.

Capítulo 1 Planteamiento del Problema

La estación Vasconia está ubicada en Puerto Boyacá, Boyacá a 130 msnm (metros sobre el nivel del mar), se considera una estación estratégica ya que recibe crudos provenientes del sur del país y realiza su distribución hacia las refinerías de Cartagena, Barrancabermeja y hacia el terminal de explotación. Allí confluyen facilidades de Cenit, Odc y Ocesa.

Actualmente la fial Cenit presenta un déficit de iluminación de las áreas donde se ejecutan sus trabajos, siendo la más crítica el área de casa máquinas, la cual cuenta con 4 unidades de bombeo en un área de 1800 m², esta condición genera un incumplimiento en la normatividad colombiana RETILAP y la Norma ISO 8995; para un ambiente de trabajo seguro y eficiente con los estándares reglamentario.

Por medio de pruebas realizadas con el equipo de medición (luxómetro) en el área del caso de estudio; se toman mediciones en dos puntos de referencia aleatorios, en el cual se obtienen los siguientes resultados; Punto 1: 156 Lux y Punto 2: 193 Lux. En los resultados arrojados por el luxómetro se evidencian valores de iluminancia (Lx) por fuera del rango permitido por la norma ISO 8995 y la tabla de deslumbramiento (UGR), la cual indica que en un área de procesos químicos (Inspección) el rango permitido de iluminancia debe estar entre 500Lux -1000Lux, lo que demuestra un déficit de iluminación en el área. Teniendo en cuenta este precedente, se propone hacer una mejora que mitigue este déficit de iluminancia, el cual se llevara a cabo por

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

23

medio de un estudio del área Casa Maquinas, implementando el uso de un software llamado DIALux que permita diseñar y documentar la información fotométrica requerida del área y un equipo analizador de calidad de energía que permita obtener los valores de variables como: tensión, corriente, armónicos y ángulo de Fase.

Capítulo 2 Justificación

La implementación del presente proyecto radica en dar solución inmediata a la problemática del déficit de iluminación presente en el área caseta maquinas Cenit de la estación Vasconia, Puerto Boyacá. En reuniones constantes entre el grupo de operaciones y el área de mantenimiento se menciona el déficit de iluminación del área, este hallazgo en la estación representa un riesgo potencial para la seguridad de trabajadores aún más cuando el área no cumple con las especificaciones dadas en la norma ISO-8995, RETILAP y demás normas técnicas colombianas para sus labores de inspección y operación en áreas internas.

Con el desarrollo de este proyecto, la incorporación de la tecnología tipo led proporciona las siguientes ventajas: Cumplir con la norma establecida bajo el reglamento del RETILAP, la norma ISO 8995 y RETIE, y de esta manera mejorar las condiciones laborales de los operadores el reducir el esfuerzo visual continuo y prevenir futuras enfermedades profesionales que puedan presentarse al continuar con las condiciones actuales de trabajo; adicional al implementar el proyecto se aporta en la reducción de la huella de carbono con el uso racional y eficiente de energía en iluminación, al minimizar el consumo energético.

Capítulo 3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar la propuesta de mejora en la actualización de tecnología, área de casa maquinas – Unidades principales Cenit, utilizando iluminación tipo LED cumpliendo con los requisitos exigidos por el RETIE, RETILAP y la norma ISO 8995 en la estación Vasconia - Cenit.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico inicial y verificar las mediciones de iluminancia en el área para la actualización a la iluminación LED.
- Utilizar software Dialux para calcular los niveles de flujo luminoso y diseñar diagramas eléctricos conforme a las normas RETILAP, RETIE y RETILAP.
- Realizar un análisis de viabilidad económica para calcular el retorno de la inversión y los beneficios financieros del proyecto de iluminación en la implementación de luminarias LED.
- Implementar el cambio de Iluminación LED, asegurando la normativa y evaluar el rendimiento de las nuevas luminarias después de la instalación.

3.3 Alcance

El trabajo a realizar cubrirá todos los objetivos planteados para finalizarlo exitosamente los cuales incluyen: Informe técnico de la simulación del circuito de iluminación, planos eléctricos del área y presupuesto para su ejecución. Implementación del proyecto con pruebas funcionales bajo los alineamientos de la empresa Consorcio SKF-OMIA. Cumpliendo con la norma ISO 8995 y la Reglamentación Colombiana RETILAP, RETIE Y NTC-2050.

Capítulo 4 Marco Teórico

Los sistemas de iluminación se pueden categorizar en función de si la distribución de la luz es principalmente por encima o por debajo del plano horizontal. En este sentido, si la mayoría del flujo luminoso se dirige hacia abajo, se genera una iluminación directa. Sin embargo, si la mayor proporción del flujo luminoso se redirige hacia el techo para que alcance la superficie que se desea iluminar, se crea una iluminación indirecta. De esta manera, se deduce que varios elementos trabajan en conjunto para guiar una cierta cantidad de luz y así iluminar un área específica (Ríos et al., 2019).

Este manual de alumbrado define que el sistema de iluminación vial hace parte de la iluminación de exteriores, calles, plazas y carteras, por lo que su objetivo radica en proporcionar la seguridad del tráfico, y promover el progreso cívico, con el fin de producir la cantidad y calidad de iluminación requerida para una segura y rápida visibilidad (Cuchilla et al., 2019).

Un primer antecedente del control de iluminación, lo realiza Medina, quién da a conocer alternativas tecnológicas de control de iluminación aplicadas en diversos edificios inteligentes, cuyo fin es incentivar el interés hacia las nuevas tecnologías utilizadas para los componentes de iluminación que conforman una edificación tanto doméstica, como comercial, dando a conocer las propiedades aplicadas en el diseño de la construcción (Garzón-Hidalgo & Saavedra-Montes, 2017).

Según (Garzón-Hidalgo & Saavedra-Montes, 2017) el objetivo de realizar el cálculo y diseño de la iluminación en el área de casa maquinas es garantizar los niveles de iluminancia adecuados para un ambiente de trabajo seguro y eficiente de las personas y equipos, teniendo en cuenta la normativa Técnica Colombia RETILAP.

Las definiciones utilizadas para el desarrollo del actual proyecto, ha sido tomada de la norma técnica establecida en Colombia, reglamento Técnico de iluminación y Alumbrado Público RETILAP

4.1 Definiciones

Acometida: En el contexto de suministro eléctrico, una acometida se define como una instalación que establece la conexión entre la red general de distribución de electricidad y el punto de suministro final del usuario, ya sea en un edificio o en otro lugar. Esta conexión permite que la energía eléctrica fluya desde la red de distribución hacia el lugar de consumo, brindando así el servicio de electricidad a los usuarios (Vásquez & Campaña, 2022).

Absorción: Este término se utiliza ampliamente para describir el proceso en el que un flujo de energía incidente se transforma en otra forma de energía, típicamente en calor. En este proceso, la energía del flujo incidente es absorbida y convertida, lo que resulta en un cambio en la forma de energía. Este fenómeno es fundamental en diversas áreas de la ciencia y la tecnología, incluyendo la física, la química y la ingeniería (Minotta, 2023).

Acomodación: Es la incorporación de cualquier sustancia o elemento mediante un estado sólido, líquido o gaseoso (Vásquez & Campaña, 2022).

Adaptación: Es todo aquel proceso físico, o de cualquier otra naturaleza, el cual permite una transformación para ajustarse a las condiciones externas o internas cambiantes (Minotta, 2023).

Ángulo de apantallamiento de una luminaria: El ángulo de apantallamiento de una luminaria es el ángulo que no es perceptible en ninguna reflexión dirigida hacia la fuente de luz del reflector. Este ángulo es crucial para determinar la dirección y el alcance de la luz emitida por una luminaria (Pérez, 2002).

Campo visual: Es aquel espacio total que un ojo puede ver sin moverse, donde se incluye la visión periférica y la visión central al fijar la mirada en un punto fijo (Vásquez & Campaña, 2022).

Capacidad Visual: Se refiere a la capacidad de percibir e identificar objetos o detalles muy pequeños o de realizar tareas visuales con un bajo contraste, también se refiere a la capacidad de distinguir formas, tamaños, colores y profundidades en el campo visual. (ERCO, 2023)

Bombilla o lámpara: Este concepto produce luz a partir de la energía eléctrica, mediante un filamento o electrón que se hace incandescente.

Candela por metro cuadrado (cd/m²): Se utiliza para caracterizar la cantidad de luz visible de una superficie que se irradia en una dirección dada, lo que quiere decir que es una medida de la cantidad de luz que llega a una unidad de superficie en una dirección específica. (Pérez, 2002)

Coefficiente de Utilización (CU ó K): El Coeficiente de Utilización (CU) o Factor de Utilización (FU) se define como la proporción del flujo luminoso emitido por una luminaria que llega a una superficie de trabajo específica, en comparación con el flujo luminoso total emitido por la fuente de luz, siendo una medida importante a considerar al diseñar sistemas de iluminación, ya que indica la eficiencia con la que la luminaria ilumina una superficie de trabajo. Un mayor valor de CU o K significa que una mayor cantidad de flujo luminoso es dirigido hacia la superficie de trabajo, lo que resulta en una iluminación más eficiente y efectiva (Astronomia, 2018)

Densidad de flujo luminoso: Es la cantidad de flujo luminoso que atraviesa una unidad de superficie en un momento dado, se mide en la unidad de lumen por metro cuadrado (lm/m²) y se utiliza para caracterizar la cantidad de luz que llega a una superficie específica en una dirección dada. (Astronomia, 2018)

Deslumbramiento: Fenómeno visual que ocurre cuando los ojos reciben luz excesiva y repentina, lo que causa sensación de molestia y disminuye la capacidad de diferenciar objetos o distorsionar la percepción. (David, 2018)

Diagrama polar: Un diagrama polar es un tipo de gráfico que visualiza la radiación o la respuesta de un sistema en una dirección determinada. Este gráfico, que se utiliza

en múltiples disciplinas, representa la energía en un patrón bidimensional que abarca un ángulo de 360 grados, mostrando la amplitud de la radiación en cada dirección (Morcillo, 2022).

$C = 0^\circ - 180^\circ$, $C = 90^\circ - 270^\circ$ y el plano de intensidad máxima son términos que se utilizan para describir las características específicas del diagrama polar. En este contexto, "C" se refiere a los ángulos en los que se mide la radiación o respuesta del sistema, y el "plano de intensidad máxima" se refiere al plano en el que la radiación o respuesta del sistema es más fuerte (Vásquez & Campaña, 2022).

Eficacia luminosa de una fuente: Es una relación existente entre el flujo luminoso que se emite por una fuente de luz y potencia eléctrica requerida que permita generar luz, se mide mediante la unidad de volumen por vatio (lm/W), el cual se utiliza para medir la eficiencia energética de una fuente de luz específica. (Morcillo, 2022)

Efecto estroboscópico: El efecto estroboscópico es un fenómeno visual que se produce cuando un objeto en movimiento es iluminado por una fuente de luz intermitente o con destellos en rápida sucesión. Este efecto puede producir un movimiento ilusorio, generando una sensación de detenimiento o separación de las distintas partes del objeto (Minotta, 2023).

Iluminancia (E): La Iluminancia (E) se refiere a la densidad del flujo luminoso que llega a una superficie. Se mide en lux (lx), una unidad del Sistema Internacional (SI) que se utiliza para cuantificar el nivel de iluminación. Esta medida es esencial en el diseño de sistemas de iluminación tanto para interiores como para exteriores, ya que tiene un impacto directo en la visibilidad, el confort visual de las personas y la eficiencia energética de los sistemas de iluminación (Minotta, 2023).

Eficacia luminosa de una fuente: La eficacia luminosa de una fuente de luz es la relación entre el flujo luminoso que produce y la energía eléctrica que necesita para hacerlo. Se mide en lúmenes por vatio (lm/W), y es una medida esencial para evaluar la eficiencia energética de una fuente de luz específica (Marquez, 2020).

Eficiencia de una luminaria: La eficiencia de una luminaria se refiere a la cantidad de energía que se convierte en luz en comparación con la energía total que utiliza. Esta

medida se expresa en porcentaje, y es un indicador clave de la eficiencia energética de una luminaria.

Factor de absorción: Es la cantidad del material absorbido en relación con la cantidad total presente. También se utiliza en la industria acústica para medir la eficiencia de absorción acústica de un material específico. (Conforti, 2020).

Flujo luminoso: Se mide en la unidad de lumen (lm) y es utilizado para cuantificar la cantidad de luz emitida por una fuente de luz en todas las direcciones, mide la potencia total emitida por una fuente de luz (Universidad de Guanajuato, 2022).

Fuente luminosa: Es un objeto que emite luz visible que es percibida por los órganos de visión, puede ser una fuente de luz artificial como una lámpara, o una fuente de luz natural (Morcillo, 2022).

Iluminancia (E): Se refiere a la magnitud física que expresa el flujo luminoso que incide sobre la unidad de superficie y se mide en la unidad de lux (lx) en el Sistema Internacional de Unidades (SI) (Vásquez & Campaña, 2022).

Iluminancia promedio horizontal mantenida (E_{prom}): Se refiere a un valor de referencia del nivel mínimo de iluminación que se debe mantener en una superficie de trabajo después de un cierto período de tiempo. (Marquez, 2020)

Índice de deslumbramiento unificado (UGR): Se utiliza para evaluar la calidad visual de un diseño del sistema de iluminación en espacios interiores, por ende, se calcula teniendo en cuenta las características de la luminaria, y se mide en una escala numérica que va del 10 al 40 (Vásquez & Campaña, 2022).

Índice de reproducción cromática (IRC): El Índice de Reproducción Cromática (IRC) es una métrica que se utiliza para calificar la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores de manera precisa. Se mide en una escala que va de 1 a 100, donde un valor más alto indica una mejor reproducción de los colores. Este índice es de gran importancia en la elección de fuentes de luz para diversas aplicaciones y

entornos que necesitan una representación exacta de los colores, como en los campos de la moda, el diseño gráfico y la fotografía (Astronomia, 2018).

Índice de rendimiento de color (Ra): El Índice de Rendimiento de Color (Ra) es una medida que indica cómo una fuente de luz afecta la apariencia cromática de los objetos que ilumina, en comparación con cómo se verían esos objetos bajo una fuente de luz de referencia. Este índice proporciona una indicación de cómo una bombilla reproduce los colores de los objetos que ilumina. El color que un objeto parece tener está determinado tanto por la distribución de la energía espectral de la luz que lo ilumina como por las propiedades de reflexión selectiva del objeto (Marquez, 2020).

Lúmen (lm): El lúmen (lm) es una unidad de medida del Sistema Internacional (SI) que se utiliza para cuantificar el flujo luminoso. Este término se refiere a la cantidad total de luz visible que una fuente de luz puede emitir en un período de tiempo determinado, sin importar la dirección en la que se propaga la luz (Minotta, 2023).

Luminancia (L): Es aquella magnitud que se refiere a la cantidad de luz que sale de una superficie con una determinada dirección y densidad de flujo luminoso, en relación con la superficie que se está iluminando (Marquez, 2020).

Luminaria: Es un dispositivo que se usa para distribuir, filtrar o transformar la luz que emite una o varias fuentes de luz, y que contiene todos los elementos necesarios como los lentes y reflectores, para cumplir su función (Vásquez & Campaña, 2022).

Lux (lx): El lux (lx) es la unidad de medida utilizada en el Sistema Internacional (SI) para cuantificar la iluminancia. La iluminancia se define como la cantidad de flujo luminoso que llega a una superficie en relación con el área de esa superficie. En resumen, el lux nos proporciona información sobre la cantidad de luz que ilumina una determinada área (Minotta, 2023).

Plano de trabajo: Se utiliza para llevar a cabo una tarea específica, la cual puede ser de cualquier forma o tamaño y puede encontrarse en diferentes ámbitos laborales, su representación gráfica se da en un espacio o área donde se realizan las obras o proyectos (Marquez, 2020).

Reflector: Se usa para reflejar o redirigir la luz u otras formas de radiación, hacia una dirección específica, y se compone por una superficie lisa y brillante que puede estar hecha de materiales como el metal, vidrio, u otros materiales reflectantes (Minotta, 2023).

Sistema de iluminación: Los sistemas de iluminación son necesarios para proporcionar la cantidad de luz necesaria en un espacio determinado, donde se incluye diferentes tipos de luminarias, fuentes de energía, dispositivos de control y distribución de luz (Vásquez & Campaña, 2022).

Vida útil (de una fuente luminosa): Es aquel periodo durante el cual la fuente de luz puede funcionar antes de ser reemplazada, debido a que su flujo luminoso ha disminuido por debajo de un nivel aceptable, y se mide en horas y depende del tipo de fuente de luz y de las condiciones específicas en las que se utiliza. (Ministerio de minas y energía, 2010)

4.2 Niveles de Iluminación o Luminancia

En el lugar de trabajo se debe asegurar el cumplimiento de los niveles de iluminancia de la Tabla 1, adaptados de la norma ISO 8995.

La iluminancia o nivel de iluminación es el flujo luminoso que incide sobre una superficie, mientras que la luminancia se refiere a la cantidad de luz que se refleja en una superficie y se mide en candelas por metro cuadrado. Ambos conceptos son importantes en la evaluación y diseño de sistemas de iluminación para conseguir unos niveles adecuados y seguros de iluminación en diferentes tipos de espacios y ambientes laborales. (Maldonado , 2015)

En la ejecución del proyecto, es necesario asegurarse de que la iluminancia promedio se mantenga dentro de los límites establecidos en la Tabla 1, sin exceder el valor máximo ni caer por debajo del valor mínimo. Además, se deben tener en cuenta los valores máximos permitidos para el deslumbramiento. El contexto o campo de

aplicación específico del proyecto, en el cual se establecen estos valores, no ha sido proporcionado (Maldonado , 2015).

Tabla 4-1 Niveles de iluminancia aceptados para áreas y actividades

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGRL.	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Áreas Generales en las edificaciones	28	50	100	150
Áreas de circulación, corredores	25	100	150	200
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños.	25	100	150	200
Almacenes, bodegas.				
Talleres de ensamble	25	200	300	500
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada.	22	300	500	750
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías.	19	500	750	1000
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina.	16	1000	1500	2000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos.				
Procesos Químicos		50	100	150
Procesos automáticos.	28	100	150	200
Pantallas de producción que requieren intervención ocasional.	25	200	300	500
Áreas generales en el interior de las fábricas.	19	300	500	750
Cuarto de control y laboratorios.	22	300	500	750
Industria farmacéutica.	19	500	750	1000
Inspección.	16	750	1000	1500
Balanceo de colores.	22	300	500	750
Fabricación de llantas de caucho.				
Fábrica de confecciones	22	500	750	1000
Costura.	16	750	1000	1500
Inspección.	22	300	500	750
Prensado.				

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

Industria eléctrica	25	200	300	500
Áreas generales de trabajo.	19	300	500	750
Ensamble de aparatos telefónicos.	19	500	750	1000
Ensamble de devanados.	19	750	1000	1500
Ensamble de aparatos receptores de radio y TV.	16	1000	1500	2000
Ensamble de elementos de ultra precisión componentes electrónicos.				
Industria alimenticia	25	200	300	500
Áreas generales de trabajo.		150	200	300
Procesos automáticos.	16	300	500	750
Decoración manual, inspección.				
Fundición	25	150	200	300
Pozos de fundición.	25	200	300	500
Moldeado basto, elaboración basta de machos.	22	300	500	750
Moldeo fino, elaboración de machos, inspección.				
Trabajo en vidrio y cerámica	25	100	150	200
Zona de hornos.	25	200	300	500
Recintos de mezcla, moldeo, conformado y estufas.	19	300	500	750
Terminado, esmaltado, envidriado.	16	500	750	1000
Pintura y decoración.	19	750	1000	1500
Afilado, lentes y cristalería, trabajo fino.				

Nota: Tabla Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades tomado de:

https://www.minenergia.gov.co/documents/3900/RES181331_2009.pdf

Tabla 4-2 Criterios de valorización

GRADO	% DE VALOR REQUERIDO	CALIFICACIÓN DE LA ILUMINACIÓN
Cansancio visual	Mayor a 105	Excesiva
No produce patología	90-105	Adecuada
No produce patología, pero no es optimo	60-89	Aceptable

Produce patología mediano o largo plazo	30-59	Deficiente
Modificación Urgente	0-29	Muy Deficiente

Nota: Se observa la tabla de criterios de valoración, Elaboración Propia. Modificada de:

Principios de Ergonomía visual. Iluminación para ambientes de trabajo.

https://www.academia.edu/40868915/GU%C3%8DA_T%C3%89CNICA_GTC_COLOMBIANA_8

Con el fin de identificar el grado de riesgo en el área de trabajo, con la siguiente formula se puede definir el criterio de valorización. (Ministerio de minas y energia, 2010)

Teniendo en cuenta la tabla 2:

Grado de Riesgo

$$GR = 100 - \frac{NE}{NR} * 100 \quad (1.1)$$

Gr: Grado de Riesgo.

Donde: **Ne:** Nivel Encontrado. **Nr:** Nivel Recomendado.

Porcentaje de Iluminación

$$\% \text{ de Iluminación} = \frac{NE}{NR} * 100 \quad (1.2)$$

Donde: **Ne:** Nivel Encontrado. **Nr:** Nivel Recomendado.

Nota: Fórmula tomada del Decreto 351/79, Capitulo 12.1.3, pág. 54

4.3 Reflectancias efectivas de las superficies

Se hace una referencia entre la relación de flujo luminoso reflejado por una superficie y el flujo que incide sobre ella, por ende, se expresa como un porcentaje, y se utiliza

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

para calcular los niveles de iluminación de espacios interiores, considerando las características de las superficies que afectan la reflectancia y distribución de la luz. (Pauwels, 2008)

Se elabora esta tabla para calcular las reflectancias de todas las superficies que forman parte de la edificación.

Tabla 4-3 Valores de reflectancia

TONO	COLOR	SUPERFICIES		ACABADOS DE CONSTRUCCION		
Muy Claro	Blanco nuevo	88	Maple	43	Cantera clara	18
	Blanco viejo	76	Nogal	16	Cemento	27
	Azul crema	76	Caoba	12	Concreto	40
	Crema	81	Pino	48	Mármol blanco	45
	Azul	65	Madera clara	30-50	Vegetación	25
	Miel	76	Madera oscura	10-25	Asfalto limpio	7
	Gris	83			Adoquín de roca	17
	Azul verde	72			Grava	13
Claro	Crema	79	Los Acabados Metálicos			
	Azul	55				
	Miel	70				
	Gris	73				
Mediano	Azul verde	54	Blanco polarizado	80		
	Amarillo	65	Aluminio pulido	75		
	Miel	63	Aluminio mate	75		
	gris	61	Aluminio claro	63		
					Ladrillo claro	30-50
					Ladrillo oscuro	15-25

Nota: Tabla Valores de Reflectancia (aproximada) en %, para colores y texturas tomado de: https://www.minenergia.gov.co/documents/3900/RES181331_2009.pdf

4.4 Sistemas de Iluminación

Se clasifican en dos sistemas de Iluminación natural y artificial.

4.5 Clasificación según la Fuente de Iluminación

Natural. La iluminación natural va ligada a la arquitectura industrial por lo que qué es más difícil de modificar y adaptar

Artificial: Esta fuente se utiliza para iluminar espacios interiores o exteriores, incluyendo lámparas incandescentes, bombillas LED, lámparas de halógeno y luces fluorescentes. (Uriarte, 2018)

La siguiente tabla enumera las fuentes de iluminación, y sus características

Tabla 4-4 Tipos de fuentes de luz artificial, y sus características

Tipo	Eficiencia (Lm/W)	Rendimiento de Color	Especificaciones
Incandescente	17-23	Bueno	Aunque es el tipo de lámpara más comúnmente utilizado, su eficiencia es la más baja. Su costo es bajo, pero su vida útil es de menos de un año.
Fluorescente	50-80	De aceptable a bueno	Su índice de reproducción cromática oscila entre 50 y 80, lo que se considera de aceptable a bueno. La eficiencia y el rendimiento de color de estas lámparas pueden variar significativamente dependiendo del tipo específico de lámpara. Sin embargo, al utilizar lámparas y balastos de alta eficiencia, es posible reducir el consumo de energía.
De mercurio	50-55	De muy deficiente a aceptable	Este producto o dispositivo se caracteriza por su durabilidad, con una vida útil que puede extenderse entre 9 y 12 años. No obstante, es

De haluro metálico	80-90	De aceptable a moderado	importante tener en cuenta que su eficiencia tiende a disminuir a medida que pasa el tiempo. El rendimiento cromático es apropiado para una amplia variedad de usos. Por lo general, la longevidad de este producto oscila entre 1 y 3 años.
De sodio de alta presión	85-125	Aceptable	La eficiencia de este producto es notable, ya que su vida útil promedio, considerando un tiempo de encendido de 12 horas al día, oscila entre 3 y 6 años. Esta característica lo convierte en una opción duradera y confiable para diversas aplicaciones.
De sodio de baja presión	100-180	deficiente	Este producto es reconocido por su excepcional eficiencia. Cuando se utiliza un promedio de 12 horas al día, su durabilidad se estima entre 4 y 5 años. Su uso es frecuente en la iluminación de carreteras y vastas áreas de tierra, lo que evidencia su eficacia en la iluminación de grandes espacios.

Elaboración Propia

4.6 Clasificación de las Luminarias según la Función

Se clasifican diferentes grupos de alumbrado, conforme a la función y área de trabajo.

Alumbrado general: Este alumbrado proporciona una iluminación uniforme en un espacio amplio, destinado para el desempeño de actividades generales en una zona, lo que logra una variedad de técnicas de iluminación (Vásquez & Campaña, 2022).

Alumbrado general localizado: Este tipo de iluminación proporciona una distribución no uniforme de luz, dando una mayor concentración de áreas específicas de trabajo,

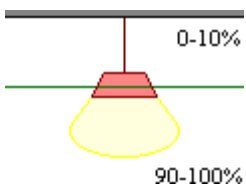
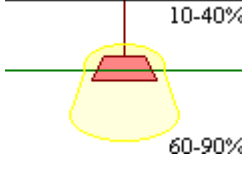
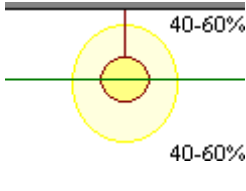
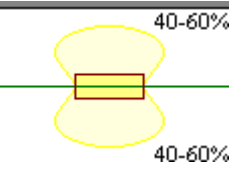
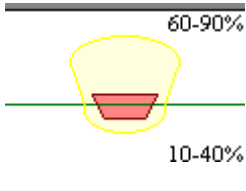
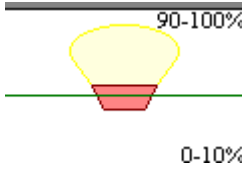
en contraposición al alumbrado general uniforme en todo un espacio (Vásquez & Campaña, 2022).

Alumbrado localizado: Este alumbrado proporciona niveles medios de iluminación general moderados, y un alumbrado directo que disponen de niveles elevados de iluminación en áreas de trabajo específicas (Vásquez & Campaña, 2022).

Alumbrados especiales: Estos alumbrados se instalan para corregir los riesgos de un fallo eventual en los alumbrados normales o para proporcionar iluminación específica en áreas de trabajo o situaciones de emergencia (Vásquez & Campaña, 2022).

Todos estos sistemas de iluminación son clasificados según el porcentaje de luz total emitido el cual se puede evidenciar de manera horizontal en cada una de las siguientes lámparas (Vásquez & Campaña, 2022).

Tabla 4-5 Iluminación General

Directa		Semi directa	
General difusa		Directa – indirecta	
Semi indirecta		Indirecta	

Nota: Tabla Clasificación CIE (Comisión Internacional de Iluminación) según la distribución de la luz tomado de:

<https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/luminar1.html>

4.7 Especificaciones técnicas de las Luminarias

4.7.1 Flujo Luminoso

Se basa en la medida de la cantidad de luz que emite una fuente de luz en todas las direcciones, por ende, se mide en lúmenes (lm) y es una medida de la potencia luminosa percibida, se difiere del flujo radiante, que es una medida de la potencia total emitida por la fuente de luz. (Auer Signal, 2018)

4.7.2 Índice de rendimiento Cromático (IRC)

Se utiliza para evaluar la capacidad de una fuente de luz, para representar con precisión los colores de los objetos en comparación con una fuente de luz natural, se mide en una escala del 1 al 10, y cuanto mayor sea su valor, mayor será la capacidad de la fuente de luz para mostrar con precisión los colores (Botero-Valencia et al., 2013).

El CRI en el rango de 75 a 100 años se considera como excelente, 65 a 75 es bueno, 55 a 65 regular y menor a 55 se considera como pobre.

Tabla 4-6 índice de rendimiento cromático

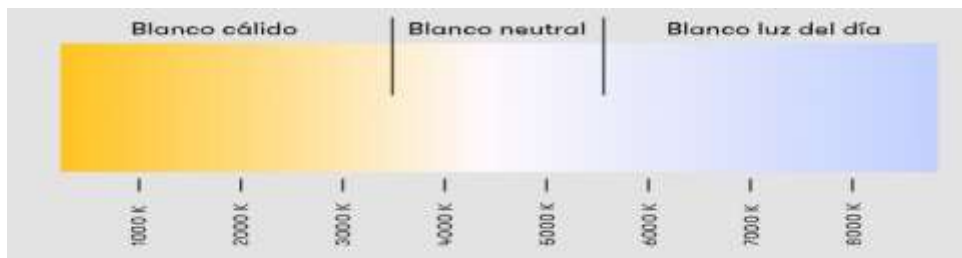
Rendimiento Cromatico	Valor IRC
Optimo	$85 \leq IRC \leq 100$
Bueno	$70 \leq IRC \leq 85$
Discreto	$50 \leq IRC \leq 70$

Nota: Índice de rendimiento, Tomado de: *Proceso Contable comercial y su incidencia en la gestión financiera de la empresa electrónica Guangasig en la ciudad de Píllaro*. (s. f.). <https://1library.co/document/yd29w0eq-proceso-contable-comercial-incidencia-financiera-electronica-guangasig-pillaro.html>

4.8 Temperatura de Color

Las lámparas de aditivos metálicos son un tipo de lámparas de descarga que utilizan diversos metales en su interior para generar luz de alta intensidad y eficiencia energética. Son comúnmente empleadas en aplicaciones industriales y comerciales que requieren una iluminación eficiente y de alta calidad. Estas lámparas varían en potencia, oscilando entre 175 y 1500 vatios. Además, poseen una eficacia superior, que se sitúa entre 60 y 100 lúmenes por vatio, y un Índice de Reproducción Cromática (CRI) entre 65 y 80, lo que las hace adecuadas para áreas comerciales. Sin embargo, su tiempo de arranque es de 47 minutos, y si se apagan, es necesario esperar aproximadamente 12 minutos hasta que la lámpara se enfríe para poder volver a encenderla. Su temperatura de color varía entre los 3000 y 5000K. A pesar de sus ventajas, estas lámparas tienen una vida útil relativamente corta, entre 7500 y 20 000 horas, en comparación con otras lámparas de alta densidad (Pan & Su, 2017).

Figura 4-1 Longitudes de onda



Nota: longitudes de onda. Fuente: Tomado de Menéndez, A. M. G. (2012).

Implementación de un balasto electrónico con microcontrolador pic para lámparas de sodio de alta presión. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2372.0166>

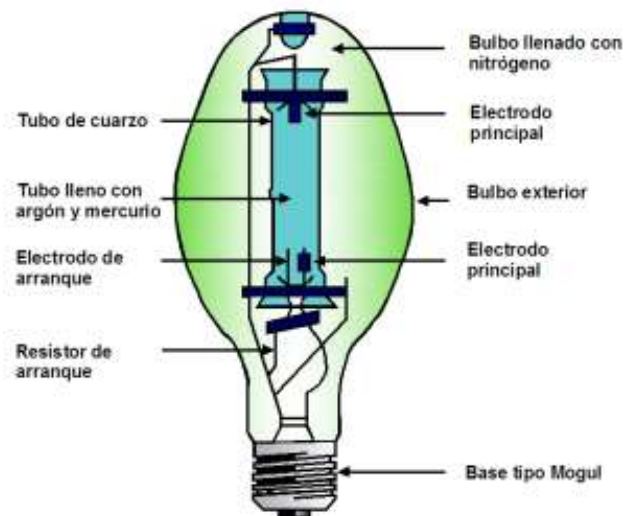
4.9 Tipos de Lámparas

Son parte esencial de un sistema de iluminación, por ende, sus características son especiales y su aplicabilidad depende de la evaluación de sus parámetros, y se clasifican de la siguiente manera:

4.9.1 Lámparas de Vapor de mercurio

Estas lámparas son una forma de iluminación de descarga que utilizan vapor de mercurio para producir luz, y tienen un bulbo de vidrio que contiene mercurio, y cuando se aplica una corriente eléctrica a través del gas de mercurio, se ioniza y emite luz. Son utilizadas comúnmente para la iluminación exterior, como en farolas y alumbrado público, así como en aplicaciones industriales y comerciales (Huertas et al., 2019).

Figura 4-2 Lámpara vapor de Mercurio



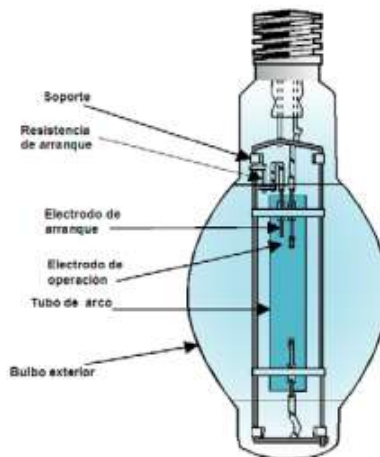
Nota: Lámpara de mercurio Fuente Tomado Menéndez, A. M. G. (2012). Implementación de un balasto electrónico con microcontrolador pic para lámparas de sodio de alta presión. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2372.0166>

4.9.2 Lámparas de Aditivos Metálicos

Son un tipo de lámparas de descarga que utilizan diferentes tipos de metales en su interior, para producir luz de alta intensidad y eficiencia energética, son utilizadas en aplicaciones industriales y comerciales que requieren una iluminación eficiente y de alta calidad, varían en potencia desde 175 hasta 1500 vatios, adicionalmente tiene una mayor eficacia (entre 60 y 100 lúmenes por watt) y por áreas comerciales (CRI entre 65 y 80) y su tiempo de arranque es de 47 minutos (Ruhmann et al., 2015).

Pero si se apagan se debe esperar aproximadamente 12 minutos hasta que la lámpara se enfríe, su temperatura varía entre los 3000 y 5000k, pero tienen poco tiempo de existencia (entre 7500 y 20 000 horas) en comparación con las de las otras lámparas de alta densidad.

Figura 4-3 Lámpara de aditivos metálicos



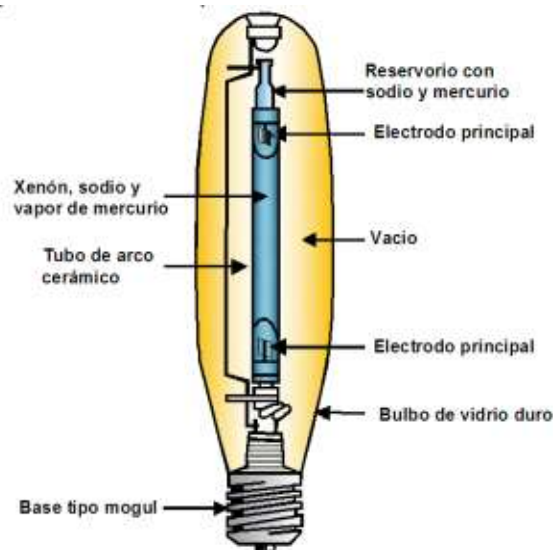
Nota: Lámpara de Aditivos: Tomado Menéndez, A. M. G. (2012). Implementación de un balasto electrónico con microcontrolador pic para lámparas de sodio de alta presión. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2372.0166>

4.9.3 Lámparas de Vapor de sodio de alta presión

Este tipo de lámparas de descarga utilizan vapor de sodio a alta presión para producir luz de alta intensidad y eficiencia energética, emiten luz monocromática que es de color amarillento característico, las lámparas de vapor de sodio de alta presión son conocidas por su alta eficiencia luminosa en términos de lúmenes emitidos por vatio de energía consumida (Djuretic & Kostić, 2018).

Este tipo de lámpara es frecuentemente empleado en áreas públicas y entornos industriales. Poseen una eficacia que supera los 115 lúmenes por vatio y un Índice de Reproducción Cromática (CRI) de 22, lo que las hace adecuadas para ubicaciones donde la reproducción precisa del color no es esencial.

Figura 4-4 Lámpara de vapor de sodio de alta presión



Nota: Se observa la lámpara a vapor de sodio, tomado de Menéndez, A. M. G. (2012).

Implementación de un balasto electrónico con microcontrolador pic para lámparas de sodio de alta presión. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2372.0166>

4.9.4 Tecnología LED

La tecnología LED, que se traduce como "Diodo Emisor de Luz", es un método de iluminación que emplea diodos emisores de luz para generar una iluminación de alta eficiencia energética y duradera. Los LEDs son semiconductores diminutos que emiten luz cuando se les suministra una corriente eléctrica. En las últimas décadas, la tecnología LED ha ganado reconocimiento debido a sus beneficios, como su prolongada vida útil, su reducido consumo energético, su elevada eficiencia luminosa, su tamaño reducido y su habilidad para emitir luz en diversos colores. Los LEDs se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde pantallas y señalización hasta iluminación interior y exterior (Esteki et al., 2023).

Figura 4-5 *Lampara de tecnología LED*



Nota: Se observa la tecnología LED. Tomado de Proceso Contable comercial y su incidencia en la gestión financiera de la empresa electrónica Guangasig en la ciudad de Píllaro. (s. f.). <https://1library.co/document/yd29w0eq-proceso-contable-comercial-incidencia-financiera-electronica-guangasig-pillaro.html>

:

4.10 Deslumbramiento

Según (Yamín et al., 2020) Es un término que se utiliza en la visión y se refiere a la incomodidad o disminución de la capacidad visual cuando una persona es expuesta a una luz excesiva o brillo, se puede ocasionar por varias cosas, incluyendo la presencia de luz solar directa, los reflejos en las superficies reflectantes o luces intermitentes. Su dimensión es objetiva por la capacidad visual o una alteración subjetiva causada por la presencia de altos niveles de luminosidad. Se dan a conocer los siguientes tipos de deslumbramiento:

Deslumbramiento directo: Este deslumbramiento se produce por una luminaria expuesta directamente en el campo visual del observador, lo que puede causar incomodidad visual, puede ser evitado utilizando apantallamiento adecuado en las fuentes de luz o ubicándolas en posiciones adecuadas fuera del campo visual.

Deslumbramiento por reflexión: Se produce cuando la luz reflejada sobre superficies pulidas o con alto nivel de reflectancia se dirige hacia los ojos del observador, causando una alteración visual desagradable.

4.10.1 Consecuencias del deslumbramiento

Por lo general el deslumbramiento puede causar incomodidad visual, cansancio ocular, disminución de la sensibilidad al contraste, alteraciones en la percepción del color y la profundidad, e incluso fatiga ocular, adicionalmente puede tener un impacto en la capacidad de conducir o realizar tareas que requieran atención visual, y por ende resulta altamente peligroso cuando se conduce un vehículo.

El deslumbramiento absoluto es una forma extrema de deslumbramiento fisiológico. Este fenómeno ocurre cuando las luminancias superan las 104 candelas por metro cuadrado (cd/m²) en el campo visual. En términos simples, el deslumbramiento absoluto se produce cuando una fuente de luz es tan intensa que puede causar una incomodidad visual significativa e incluso una pérdida temporal de la visión. Este tipo

de deslumbramiento puede ser peligroso, especialmente en situaciones donde la visión clara es esencial, como al conducir o al operar maquinaria pesada (Yamín et al., 2020).

4.10.2 Cómo evitar el deslumbramiento

Es posible reducir los efectos mediante la disminución del contraste de la luminancia entre el entorno y la fuente de luz deslumbrante, por lo que se puede aumentar o disminuir la luz del entorno, sin embargo, es recomendable lo siguiente:

- Controlar los reflejos para evitar deslumbramientos
- Usar pantallas o filtros anti-deslumbramiento en las pantallas de computadora
- Colocar las fuentes de luz en posiciones adecuadas que minimicen el impacto en el campo visual del observador.

Capítulo 5 Diagnóstico de Condiciones de Iluminación

Para iniciar el proyecto de iluminación, es esencial conocer las condiciones iniciales del área. Esto permitirá tomar las decisiones necesarias para obtener los resultados óptimos. Se aplicarán las siguientes formulas, ajustadas a los requisitos del reglamento colombiano RETILAP. (Ministerio de minas y energia, 2010)

5.1 Nivel de Iluminación en área Casa Maquinas

Para dar con la medición precisa, es importante dividir el espacio en cuadrados y medir la iluminancia en el centro del cuadro, y por ende la altura del plano del trabajo.

Debido a que las condiciones de trabajo son para trabajos de pie las tomas de lectura con el sensor luxómetro se deben colocar en el plano de trabajo de 0,85 m.

Grado de Riesgo (Área Casa Maquinas)

$$GR = 100 - \frac{NE}{NR} * 100 \quad (1.1)$$

Tenemos:

$$GR = 100 - \frac{158,5lx}{750lx} * 100 \quad (2.1)$$

GR = 78.8 *No produce patología, pero no es óptimo.*

Porcentaje de Iluminación (Área Casa Maquinas)

$$\% \text{ de Iluminación} = \frac{NE}{NR} * 100 \quad (1.2)$$

Tenemos:

$$\% \text{ de Iluminación} = \frac{158,5lx}{750} * 100 \quad (1.2)$$

$$\% \text{ de Iluminación} = \mathbf{21,1\%}$$

5.1.1 Calcular el índice de local (K)

Datos del área para identificar las condiciones actuales:

Largo: 52 mts

Ancho: 12 mts

Altura del montaje de las luminarias: 12 mts (11,15 mts con el plano de Trabajo)

Plano de Trabajo: 0,85

$$K = \frac{(largo * Ancho)}{\text{Altura de Montaje} * (largo * Ancho)} \quad (2.1)$$

$$K = \frac{(52 \text{ m} * 12 \text{ m})}{11,15 * (52 \text{ m} * 12 \text{ m})} = 0,87$$

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 430.2.1, pág. 94 (Ministerio de minas y energía, 2010)

Debido a que el resultado nos es reflejado en un valor decimal, lo redondeamos a un número entero, por lo tanto, el valor de K= 1

5.1.2 Calcular el número mínimo de puntos (N)

Con esta fórmula y ya identificado el índice de local, hallamos el número mínimo de puntos requeridos para las mediciones del área.

$$(K + 2)^2 \quad (2.2)$$

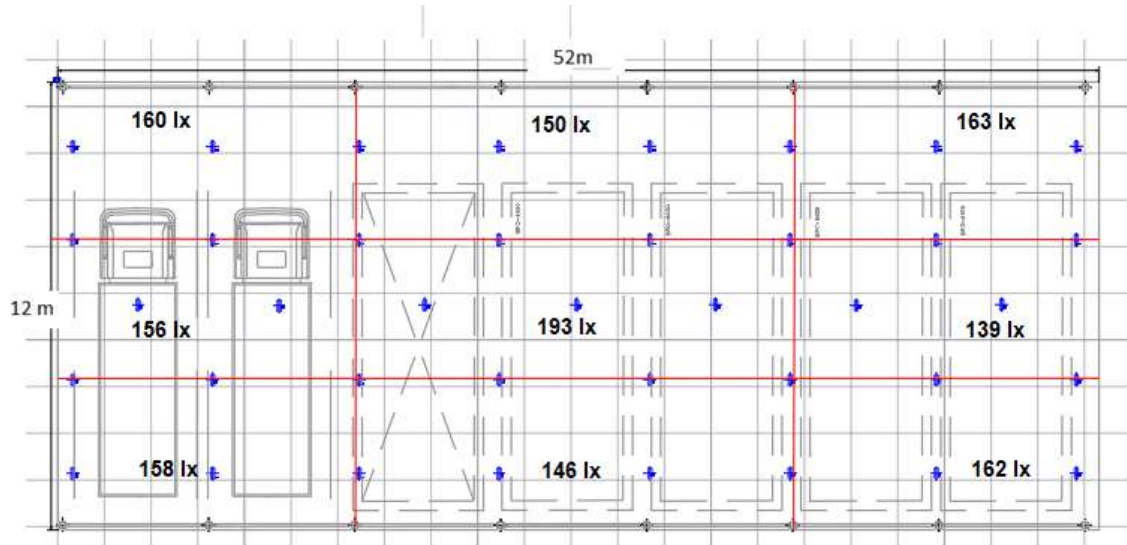
$$(1 + 2)^2 = 9 \text{ Puntos.}$$

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

51

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 430.2.1, pág. 94 (Ministerio de minas y energía, 2010)

Figura 5-1 Punto de medición del área casa maquinas



Nota: Se observa los puntos de medición. Elaboración Propia

Figura 5-2 Mediciones área casa maquinas punto de ejecución proyecto



Nota: El grafico representa las mediciones. Fuente Propia

5.1.3 Calcular el nivel de iluminación promedio

Al realizar la sumatoria de todas las medidas de las cuadrículas podemos implementar la siguiente fórmula para hallar el promedio de la iluminación

$$E_{media} = \frac{\sum \text{Valores Medidos (Lux)}}{\text{Cantidad de Puntos Medidos}} \quad (2.3)$$

$$E_{media} = \frac{1427}{9} = 158,5 \text{ Lux}$$

Teniendo en cuenta el resultado obtenido la Norma ISO 8995 nos habla de la iluminancia y sus altos niveles en lugares de trabajo, pero en ningún momento pueden sobrepasar los valores máximos y mínimos.

5.1.4 Calcular la uniformidad

$$E_{minima} \geq \frac{E_{media}}{2} \quad (2.4)$$

Nota: Fórmula tomada del Decreto 351/79, Capítulo 12.1.3, pág. 54

La E mínima se obtuvo en la medición de las cuadrículas como el valor más bajo de las mediciones.

$$139 \text{ lx} \geq \frac{158,5 \text{ lx}}{2} = 79,25$$

Se puede evidenciar que la desigualdad se cumple por lo tanto la iluminación actual del área casa maquinas es uniforme.

Capítulo 6 Diseño del sistema de Iluminación

Este diseño involucra el proceso de planificación y selección de instalaciones de iluminaciones adecuadas para un espacio específico, teniendo en cuenta los objetivos como la eficiencia energética, la comodidad visual, el rendimiento visual, y el estilo estético. Para llevar a cabo este diseño se debe considerar factores tales como la iluminancia necesaria, la distribución de la luz en el espacio, y los requisitos de control de iluminación de elección de fuentes de luz en el espacio (Makaremi et al., 2018).

Para el diseño eficiente de sistemas de iluminación, se pueden emplear herramientas de software especializadas como DIALux. Esta herramienta facilita la consecución de objetivos fundamentales para un diseño de iluminación eficiente, que incluyen:

Iluminancia promedio [lx]: Este es un aspecto crucial ya que garantiza un nivel de iluminancia promedio adecuado en toda el área que se desea iluminar. La iluminancia, medida en luxes (lx), es la cantidad de luz que incide sobre una superficie. Un nivel de iluminancia promedio adecuado asegura que todas las áreas estén suficientemente iluminadas, lo que puede mejorar la visibilidad y la seguridad (Makaremi et al., 2018).

Valor de eficiencia energética de la instalación [VEEI]: Este valor indica la eficiencia energética de la instalación de iluminación recién realizada. Se mide en términos de la cantidad de luz (en luxes) que se produce por la potencia eléctrica (en vatios) consumida por las lámparas. Un VEEI más alto indica una mayor eficiencia energética, ya que significa que se está produciendo más luz con menos energía.

Estos dos objetivos son fundamentales para garantizar que el diseño de iluminación sea tanto eficiente en términos de iluminación como de energía. Al utilizar herramientas de software como DIALux, los diseñadores de iluminación pueden modelar y simular diferentes escenarios de iluminación, lo que les permite optimizar el diseño de iluminación para cumplir con estos objetivos (Makaremi et al., 2018).

El diseño de una instalación de iluminación es un proceso que requiere una planificación cuidadosa y la consideración de varios factores. Aquí se describen los pasos que se deben seguir para realizar este diseño:

6.1 Análisis del proyecto

El primer paso en el diseño de una instalación de iluminación es realizar un análisis del proyecto. Esto implica identificar claramente el tipo de iluminación requerida (ya sea local o general), el tipo de espacio y la actividad que se llevará a cabo allí.

6.2 Definir parámetro Local

Los parámetros del espacio se refieren a las dimensiones geométricas del lugar y su forma específica. Estos parámetros son esenciales para determinar la cantidad y el tipo de iluminación necesarios.

6.3 Seleccionar iluminación Media

Basándose en el análisis del proyecto, se debe seleccionar la iluminancia media más adecuada de acuerdo con la Tabla 1. La iluminancia media es el objetivo de diseño y se refiere a la cantidad de luz que incide sobre una superficie.

6.4 Seleccionar Lámpara – Luminaria

En este paso, se debe seleccionar el tipo de lámpara y luminaria que se utilizará, teniendo en cuenta el tipo de proyecto y la iluminación requerida. Al seleccionar este conjunto, también se deben especificar sus principales características fotométricas, que incluyen:

Flujo luminoso [lm]: Es la cantidad total de luz emitida por la lámpara.

Potencia eléctrica [W]: Es la cantidad de energía eléctrica consumida por la lámpara.

Eficacia [lm/W]: Es la relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica, y es una medida de la eficiencia energética de la lámpara.

Diagrama polar de distribución luminosa: Es una representación gráfica de la distribución de la luz emitida por la lámpara en todas las direcciones.

Tabla de coeficientes de utilización: Es una tabla que proporciona información sobre la cantidad de luz emitida por la lámpara que realmente se utiliza en el espacio.

Al seguir estos pasos, se puede diseñar una instalación de iluminación que sea eficiente, efectiva y adecuada para el espacio y la actividad que se llevará a cabo allí.

6.5 Plano de trabajo

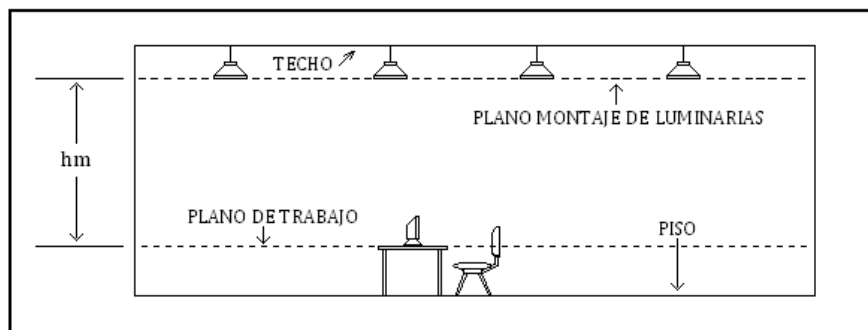
El plano útil o de trabajo se refiere a la altura específica con respecto al suelo donde se llevarán a cabo las actividades dentro de un espacio determinado. Esta altura puede ser general o local, dependiendo de la naturaleza de las actividades que se realizarán. En caso de que esta altura no sea conocida, el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) de Colombia establece que se puede considerar una altura de 0,75 metros para las actividades que se realizan sentado y de 0,85 metros para las actividades que se realizan de pie. Estas alturas son estándares en la industria y se utilizan para garantizar que la iluminación sea adecuada para las actividades que se realizarán en el espacio.

6.6 Calcular Cavidad del local (K)

Este factor es crucial para determinar el coeficiente de utilización (CU) para cada tipo de luminaria seleccionada, de acuerdo con las hojas de datos proporcionadas por los fabricantes. El coeficiente de utilización es un parámetro importante en el diseño de la iluminación, ya que indica la eficiencia con la que una luminaria distribuye la luz en un espacio determinado. Se calcula como la relación entre la luz que llega a la superficie de trabajo y la luz emitida por la luminaria. Este coeficiente depende de varios factores, incluyendo las características de la luminaria, la disposición de las

luminarias, las propiedades reflectantes de las superficies del espacio, y la tarea visual a realizar. Por lo tanto, es esencial considerar este factor al seleccionar las luminarias para un proyecto de iluminación.

Figura 6-1 Distancia y Cavidades del local



Nota: Cavidad del local Tomada de: https://1library.co/document/yev6nk1z-implementation-sistema-control-iluminacion-interior-exterior-financiera-mediante.html#google_vignette

$$hm = h - (PT + PML) \text{ [m]} \quad (3)$$

Donde:

hm: Altura de la cavidad del local [m]

h: Altura del local [m]

PT: Plano de trabajo [m]

PML: Plano de montaje de luminarias [m].

$$K = - \frac{h*hm*(l*a)}{l*a} = RCL \quad (4)$$

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 430.2, pág. 93 (Ministerio de minas y energía, 2010)

Donde hm es la distancia que hay entre el plano o la altura de trabajo y la altura de montaje de la luminaria, l y a corresponden a la longitud y al ancho del local respectivamente. K o RCL hacen referencia al índice de la cavidad del local.

6.7 Determinar el coeficiente de iluminación (CU)

Para determinar el coeficiente de utilización (CU), se debe tomar en cuenta la reflectividad de las superficies del espacio, el número de luminarias y su ubicación, así como la distribución de la luz en el espacio. El CU se puede calcular mediante fórmulas específicas que toman en cuenta estos factores. También se pueden utilizar herramientas de software especializadas para el cálculo del sistema de iluminación que incluyan el cálculo del coeficiente de utilización.

En esta tabla se construye sin tener en cuenta la reflectancia del piso, debido a que es la menos influyente en la iluminancia promedio, por lo que se realizan para un valor fijo de reflectancia de piso.

Tabla 6-1 Tabla de CU- Tabla de Factores de Utilización, suministrada por el fabricante de la luminaria

Índice del Local K	ρ Techo	0,8		0,5		0,2	
	ρ Pared	0,8	0,4	0,8	0,4	0,8	0,4
1		0,94	0,85	0,52	0,65	0,42	0,39
2		0,91	0,87	0,65	0,75	0,53	0,38
3		0,89	0,71	0,5	0,62	0,42	0,37
4		0,81	0,72	0,53	0,6	0,41	0,25

Elaboración propia.

Se da a conocer el índice K, y los valores de reflectancia que se encuentran en las tablas de CU, con valores enteros, por tal motivo se deben escoger los más cercanos.

6.8 Calcular Factor de Mantenimiento (FM)

Para calcular el factor de mantenimiento es necesario considerar los siguientes aspectos:

El factor de pérdida de luminosidad (LLMF)

El factor de ensuciamiento del recinto (LSF)

El factor de mantenimiento de luminarias (LFM)

El factor de mantenimiento de las superficies (RFM)

Su fórmula se representa de la siguiente manera: $FM = LLMF * LSF * LFM * RFM$, donde se multiplican los valores de cada uno de los parámetros obtenidos en el diseño de iluminación.

Para este diseño se debe basar en el factor de mantenimiento con el fin de asegurar los niveles de iluminancia promedio, que se establecen en el RETILAP, y se da a conocer de la siguiente manera:

$$FM = FE * DLB * Fb \quad (5)$$

Donde:

FM: Factor de mantenimiento

FE: Depreciación de la luminaria por suciedad

DLB: Depreciación por disminución del flujo luminoso de la bombilla

Fb: Factor de balasto.

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 430.5.1, pág. 98 (Ministerio de minas y energía, 2010)

Para facilitar el proceso se puede también escoger el FM de una de las tablas otorgadas por la CIE (En español “Comisión Internacional de Iluminación”), en las cuales basta con especificar la frecuencia con la que se le realizará mantenimiento a

la instalación de iluminación, el tipo de luminaria y finalmente las condiciones medioambientales a las que será sometido el sistema de iluminación.

Tabla 6-2 Valores de la FM sugeridos por la CIE

Frecuencia de limpieza. (años)	1				2			
	P	C	N	D	P	C	N	D
Condiciones ambientales.								
Luminarias abiertas.	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior abierta.	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
Reflector parte superior cerrada.	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
Reflectores cerrados.	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminarias a prueba de polvo.	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminarias con emisión indirecta.	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

Elaboración Propia.

En donde:

P: Pure - Puro o muy limpio

C: Clean - Limpio

N: Normal

D: Dirty - Sucio.

6.9 Flujo luminoso total requerido (ϕ_{tot}).

Para calcular el flujo luminoso es necesario conocer la iluminancia media necesaria para el espacio (E_{prom}), el área de espacio (A) y el factor de utilización (CU) y se debe tener en cuenta los factores de mantenimiento (FM), la pérdida de luminosidad

(LLMF), el ensuciamiento del recinto (LSF) y mantenimiento de las superficies (RFM) al calcular el flujo luminoso total requerido,

El flujo total viene dado por la siguiente expresión:

$$\varphi_{\text{tot}} = \frac{E_{\text{medio}} * A}{CU * FM} [lm] \quad (6)$$

Donde:

φ_{tot} : Flujo luminoso total requerido [lm]

E medio: Iluminancia media requerida [lx]

A: Área del local [m²]

CU: Coeficiente de utilización

FM: Factor de mantenimiento.

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 430.3, pág. 96 (Ministerio de minas y energía, 2010)

6.10 Calcular número de luminarias requeridas (N)

Habiendo determinado el flujo luminoso total requerido para producir la iluminancia media requerida y conociendo el flujo luminoso emitido por cada lámpara, el número de luminarias requeridas se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{\varphi_{\text{tot}}}{\varphi_l * n} \quad (7)$$

Donde:

N: Número de luminarias requeridas

n: Número de bombillas por luminaria

φ_{tot} : Flujo luminoso total o requerido [lm]

φ_l : Flujo luminoso por bombilla [lm].

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 430.3, pág. 97. (Ministerio de minas y energía, 2010)

Después de calcular N, que normalmente no es un número entero, se deberá escoger el número de luminarias a utilizar lo más aproximado a N.

6.11 Calcular Flujo Luminoso real (Φ real) e iluminancia promedio real (E_{prom}).

Después de determinar el número de luminarias a utilizar se deberá calcular el flujo luminoso real emitido por éstas.

$$\varphi_{real} = N * n * \varphi L \text{ [lm]} \quad (8)$$

Donde:

φ real: Flujo luminoso real emitido [lm]

N: Numero de luminarias requeridas

n: Número de bombillas por luminaria

φL : Flujo luminoso por bombilla [lm].

Teniendo ya calculado φ_{real} se debe calcular la iluminancia promedio que se obtendrá con este valor. La iluminancia promedio está determinada por la siguiente ecuación:

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} * CU * FM}{A} \text{ [lx]} \quad (9)$$

Donde:

φ real: Flujo luminoso real emitido por el número de luminarias (lm)

CU: Coeficiente o factor de utilización

FM: Factor de mantenimiento

A: Área de la edificación (m^2).

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 430, pág., 91. (Ministerio de minas y energía, 2010)

6.12 Calcular valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona se evaluará mediante el indicador denominado Valor de Eficiencia Energética de la instalación (VEEI) expresado en (W/m²) por cada 100 luxes, mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{\varphi_{real} * CU * FM}{S * E_{prom}} \left(\frac{W}{m^2} * 100 + lx \right) \quad (10)$$

Donde:

P: Potencia activa requerida por el número de luminarias a utilizar [W].

S: Superficie o área del plano útil [m²].

E: Iluminancia promedio horizontal calculada o real en el plano útil [lx].

Nota: Fórmula tomada del RETILAP, sección 440.1, pág. 99. (Ministerio de minas y energía, 2010)

Tabla 6-3 Valores de VEEI máximos permitidos

Grupo	Actividad de la Zona	VEEI Máximo
1. Zonas de baja importancia Lumínica.	Administrativa en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnostico	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios	4
	Habitaciones de hospital	4,5
	Zonas comunes	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Parqueaderos	5
	Zonas deportivas	5
Administrativa en general	6	

2. Zonas de alta importancia lumínica	Estaciones de transporte	6
	Supermercados, hipermercados y almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros comerciales (tiendas excluidas)	8
	Otro recinto interiores asimilables a grupo 2 no descrito en la lista anterior	10
	Centros de culto religioso en general	10
	Salones de reuniones, auditorios, convenciones	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes	10
	Habitaciones de hoteles	12

Nota: Tabla Valores límite de eficiencia energética de la instalación (VEEI) Tomada de: https://www.minenergia.gov.co/documents/3900/RES181331_2009.pdf

6.13 Implementación del Diseño

En búsqueda de identificar si el actual sistema de iluminación del área a intervenir cuenta con las cantidades de luminarias requeridas y los niveles de iluminancia se realiza el diseño para la instalación de las nuevas lámparas Led en el área.

6.13.1 Análisis del Proyecto

El área para iluminar es de forma rectangular; asignada para el despacho de crudo tipo pesado y mezcla, cuenta con 4 motores principales del 2500 HP, para el impulso de este producto hacia la refinería de Barrancabermeja en ella se realizan trabajos de verificación e inspección de los equipos, como son presiones, temperaturas, fugas de producto y chequeo constante de los equipos. (Ramirez, 2012)

6.13.2 Parámetros del local.

Dimensiones: Altura: 12 m, ancho: 12.15 m, longitud: 51.8 m

Color de paredes y techo: Gris claro

Color del piso: Gris oscuro

Plano o altura de trabajo: 0,85 m.

Una vez definido los colores y las paredes, se procede a determinar un valor de reflectancia para estas superficies, por tal motivo se ubican los colores gris claro y oscuro, y las reflectancias quedan de la siguiente manera:

Reflectancia paredes y techo: 73%

Reflectancia piso: 25%.

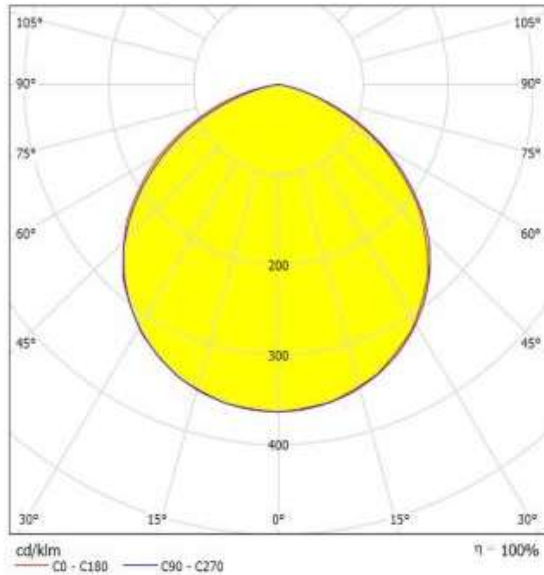
6.13.3 Seleccionar Iluminancia media

Después de identificar el área y las actividades a ejecutar se identifica el nivel de iluminancia media requerida para las actividades; donde evidenciamos en la Tabla 1 Procesos Químicos / Inspección / Nivel de Iluminancia Media / 750 Lx. (Diseño).

6.13.4 Selección Conjunto lámpara-luminaria

En el ámbito en cuestión, se utilizarán las Lámparas Colgantes LED a prueba de explosiones SYL SECURE. Estas están diseñadas para entornos que presentan un riesgo de explosión debido a la presencia de vapores, gases inflamables o polvos combustibles. Son perfectas para condiciones adversas y rigurosas donde pueden existir factores como humedad, suciedad intensa, polvo, ambientes corrosivos y vibración. por el fabricante SYLVANIA

Figura 6-2 Tipo de luminaria y diagrama polar de la distribución luminosa



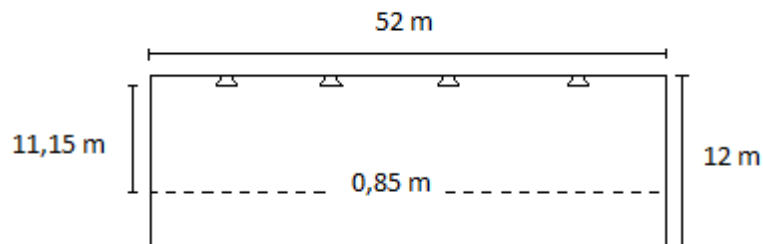
Nota: Se observa la luminaria y el diagrama polar Tomada de: <https://sylvania-colombia.com/product/led-high-bay-sylsecure/>

Lámpara:	LED Explosion-Proof SYL SECURE
Potencia por Lámpara:	60-150W
Flujo Luminoso por Lámpara:	9000lm
Eficacia:	150lm/W

6.13.5 Cavidad del local K

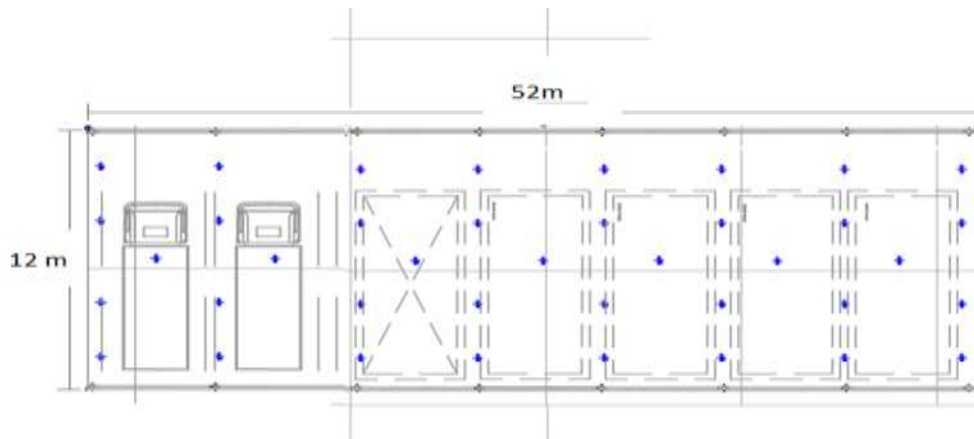
Identificadas las dimensiones del área y dado que las condiciones de inspección son para trabajo realizado de pie, el plano de trabajo se sitúa en 0,85 m.

Figura 6-3 Dimensiones de la caseta maquinas



Nota: Se observan las dimensiones. Fuente: Propia

Figura 6-4 Dimensiones del área original



Nota: Se observan las dimensiones del área original, Fuente: elaboración Propia

Debido a que las luminarias se instalaran de forma directa en el techo el plano de montaje del área es cero, de esta manera hallamos **hm**: Altura de la cavidad del local.

$$hm = 12\text{mts} - 0,85 = 11,15 \text{ mts} \quad (3)$$

Después de halla de cavidad local es necesario calcular el índice de cavidad del local.

$$K = - \frac{5 \cdot 11,15\text{m} \cdot (52\text{m} \cdot 12\text{m})}{52\text{m} \cdot 12\text{m}} = 55.75 \quad (4)$$

Ya identificado el número de cavidad del área, se realiza proximidad de 55.75 a 6; así la cavidad del área local queda establecida en K=6.

6.13.6 Coeficiente de utilización (CU)

En relación con el Coeficiente de Utilización (CU), una vez que se ha establecido el índice de la cavidad del espacio y se han identificado las reflectancias efectivas de cada superficie, se procede a calcular el coeficiente o factor de utilización utilizando la información proporcionada en las hojas de datos.

Figura 6-5 Coeficiencia de utilización sylvania

TIPO DE LUMINARIA	REFLECTANCIAS EFECTIVAS												
	TECHO	80			70			50			30		
	PARED	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
	RCL	COEFICIENTES DE UTILIZACION											
LED Explosion- ProofSYL SECURE	7	0,85	0,82	0,80	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,72	0,69	0,68	0,66
	6	0,76	0,72	0,68	0,74	0,70	0,66	0,68	0,65	0,62	0,63	0,61	0,58
	5	0,69	0,63	0,59	0,66	0,61	0,57	0,62	0,58	0,54	0,57	0,54	0,51
	4	0,62	0,56	0,51	0,60	0,56	0,50	0,56	0,51	0,47	0,52	0,48	0,45
	3	0,55	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43	0,50	0,45	0,41	0,47	0,43	0,39
	2	0,50	0,43	0,39	0,48	0,42	0,38	0,45	0,40	0,36	0,42	0,38	0,35
	1	0,45	0,38	0,34	0,43	0,37	0,33	0,41	0,36	0,32	0,38	0,34	0,30

Nota: Ubicado en el valor de RCL en 6 se encuentra que CU= 0,74

6.13.7 Factor de mantenimiento (FM)

Para calcular entonces el FM, sé que cuenta que tiene con un ciclo anual de mantenimiento. El área de trabajo, aunque sea Clase 1 Div 2 es un área normal y el

tipo de luminaria escogida es del tipo a prueba de polvo, el factor de mantenimiento quedará establecido en FM= **0,90**.

Tabla 6-4
Factor de mantenimiento

Frecuencia de limpieza. (años)	1			
Condiciones ambientales.	P	C	N	D
Luminarias a prueba de polvo.	0,98	0,94	0,90	0,86

Elaboración Propia

6.13.8 Flujo luminoso total requerido (ϕ_{tot})

Ya definidos los valores de CU, FM y E medio se proceden a calcular el flujo luminoso total requerido (ϕ_{tot}).

$$\phi_{tot} = \frac{750 \text{ lx} * (52 \text{ m} * 12 \text{ m})}{0,74 * 0,90} = [712328.767 \text{ lm}] \quad (6)$$

6.13.9 Número de luminarias requeridas (N)

El número de luminarias requeridas dependen del flujo luminoso total requerido que produce la iluminancia media necesaria en el espacio, así como del tipo y cantidad de lámparas que se utilizaran en cada luminaria, su procedimiento se da de la siguiente manera:

$$N = \frac{712328.7671}{18000 \text{ lm} * 1} = 39,5 \text{ Luminarias} \quad (7)$$

6.13.10 Flujo Luminoso real (Φ real) e iluminancia promedio real (E_{prom})

Una vez que se ha establecido la cantidad de luminarias a implementar, es necesario proceder con la estimación del flujo luminoso efectivo que estas emitirán.

$$\varphi_{\text{real}} = 39 * 1 * 18000 = [702.000 \text{ lm}] \quad (8)$$

Finalmente se calcula la iluminancia promedio (E_{prom}) con el flujo Luminoso

$$E_{\text{prom}} = \frac{702.000 \text{ lm} * 0.74 * 0.90}{52 \text{ m} * 12 \text{ m}} = [749.25 \text{ lx}] \quad (9)$$

6.13.11 Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI)

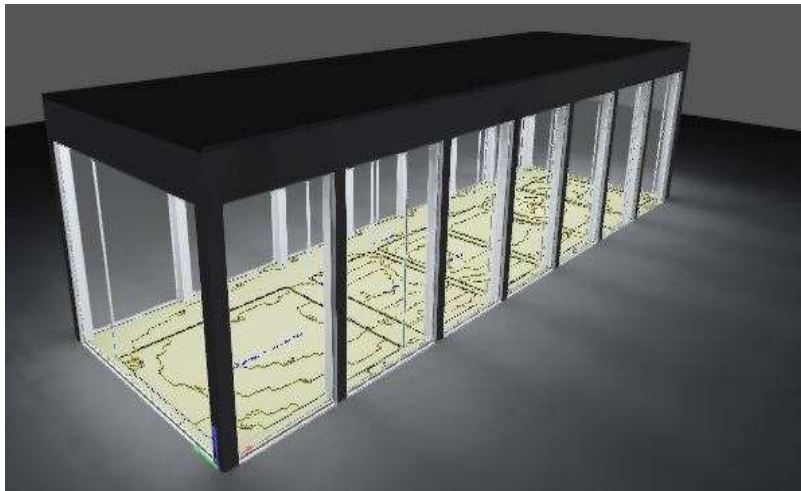
Este depende principalmente de la eficacia de las lámparas utilizadas, de manera que entre más alta sea la eficacia de éstas, menor será el VEEI obtenido.

$$VEEI = \frac{(150 \text{ w} * 1 * 39) * 100 \text{ lx}}{52 \text{ m} * 12 * 749,25 \text{ lx}} = 1.25 \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \times 100 \text{ lx} \quad (10)$$

En el área de la sala de máquinas, que se encuentra clasificada como "Otros recintos" en el Grupo 2 de la Tabla 5, se aplica un Valor de Eficiencia Energética Instantáneo (VEEI) máximo de 6. En este caso, el VEEI calculado es menor que el valor máximo permitido, lo que indica que el diseño es eficiente en términos energéticos. Al cumplir con los requisitos de iluminancia promedio y eficiencia energética establecidos para la instalación, se considera que el diseño está completo.

6.14 Diseño de la instalación de iluminación del área ilustrado por Software DIALux

Figura 6-6 Diseño con iluminación DIALux



Nota: Fuente Propia.

Capítulo 7 Implementación de la Tecnología LED

7.1 Descripción de los equipos Utilizados

En este proceso de análisis, se consideran las mediciones de campo como una referencia fundamental para obtener información precisa sobre el estado actual de la red eléctrica del establecimiento. Estas mediciones sirven como punto de partida para realizar recomendaciones y mejoras en el sistema eléctrico (Esteki et al., 2023). El objetivo es identificar posibles problemas, deficiencias o áreas de oportunidad en la red eléctrica existente, y proponer soluciones adecuadas que permitan optimizar su funcionamiento.

Se tiene en cuenta los siguientes equipos:

- Analizador de redes
- Luxómetro
- Pinza de medida

7.1.1 Analizador de calidad de Energía

Este dispositivo es utilizado para monitorear la calidad de la energía eléctrica. Está equipado con 8 canales independientes, 4 canales de tensión y 4 canales de corriente. Proporciona respuestas de calidad de potencia instantánea en el campo. Recoge, analiza y tabula una amplia gama de datos de control de potencia en categorías codificadas por colores para identificar rápidamente las áreas de interés.

Se selecciona el tiempo de durabilidad y recopilación de datos, donde se evidencie la solución de problemas, registro de datos, la calidad de energía y el equilibrio de carga

Los datos se pueden consultar en tiempo real utilizando el modo de alcance, el modo de metro, el modo de caso, el espectro de armónicos o diagramas de fasores [9].

Especificaciones generales:

Marca : Power Visa

Tensión de alimentación : 230 V (+10%; -15%)

Frecuencia : 50/60 Hz

Consumo : 25 VA

Temperatura de trabajo : 0/50 °C

Circuito de medida : Trifásico o Aron

Rangos de medida de tensión: 20 a 500 V A.C (entre fase y neutro), cambio automático de escala.

Frecuencia de 45 a 65 Hz.

7.1.2 Luxómetro

Un luxómetro es un dispositivo de medición utilizado para medir la iluminación o la cantidad de luz que incide sobre una superficie determinada, pueden expresar sus resultados en unidades de lux que miden la cantidad de luz visible por unidad de área, y se utilizan comúnmente en el diseño y la instalación de sistemas de iluminación, así como para evaluar el rendimiento de los sistemas de iluminación existentes y determinar la necesidad de mantenimiento o actualizaciones.

Especificaciones generales:

Marca : Meterman TASI LM631

Precisión total : 3% lectura + 10 dígitos

Resolución : 0.01 lux; 0.01 fc

Temperatura de operación : 0 a 50 °C

Baterías	: 4 unidades de 1.5 V, triple A
Peso	: 220 gr con baterías
Rangos	: 20 lux, 200 lux, 2000 lux, 20000 lux, :20 fc, 200 fc, 2000 fc, 20000 fc

7.1.3 Pinza Amperimétrica

Se utiliza para medir la corriente eléctrica de un circuito, y funciona mediante la medición indirecta de la corriente circulante a través de un conductor a partir del campo magnético generado.

Especificaciones generales:

Modelo	: 376
Serie	: 42900019WS
Rangos de medición	
Corriente DC	: 999.9 A
Corriente AC	: 2500 A
Voltaje DC	: 1000 V
Voltaje AC	: 1000 V
Resistencia	: 60.000 Ohm
Frecuencia	: 5 Hz To 500 Hz,

7.2 Actualización de Tecnología LED

Después de la verificación y simulación del proyecto bajo el software dialux, las lámparas seleccionadas para el remplazo de las actuales en el área de trabajo son LED Explosion-Proof SYL SECURE, potencia ajustable de 60-150W, tensión de Operación 100 - 277VAC y un flujo Luminoso de 9000 – 22500(lm). Cuentan con una característica especial por la condición del área, son Clase I, Div 2 diseñadas para

lugares en donde existe concentraciones inflamables de gases o vapores con presencia en el aire y no están presentes en condiciones normales

Figura 7-1 Características de las luminarias LED



Nota: Se observan lámparas LED Para la ejecución de la actividad fue necesario el uso de equipo elevador Manlif, al momento del retiro e instalación de las luminarias. Fuente Propia.

Figura 7-2 Desmantelamiento de luminarias tipo sodio



Nota: Fuente Propia.

Figura 7-3 Conexión e instalación de luminarias tipo LED



Nota: Finalizado el cambio de cada una de las luminarias se procede nuevamente a tomar medidas de iluminancia en el área donde evidenciamos este caso los resultados en niveles permitidos bajo la norma colombiana; para las actividades de Procesos Químicos / Inspección, por lo que el promedio está en un valor medio permitidos con 640 Lx (Iluminancia Adecuada). Nota: Fuente Propia.

Figura 7-4 Valores de medición del área con la actualización de tecnología de iluminación LED



Nota: Fuente Propia.

Figura 7-5 Implementación del proyecto en el área Casa Maquinas-Cenit

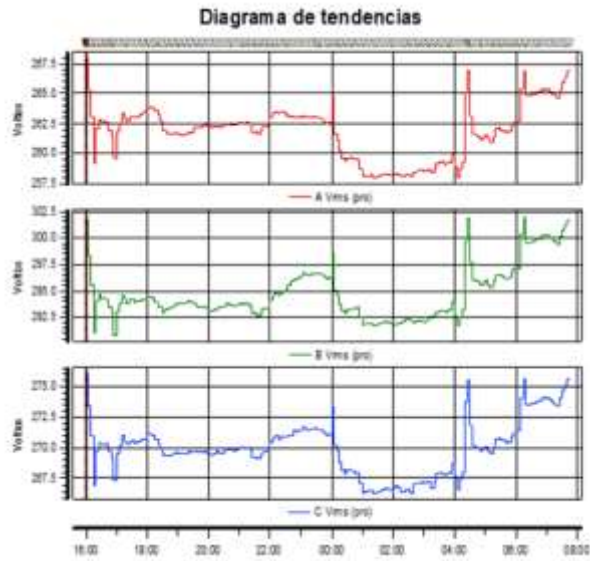


Nota: Fuente Propia.

7.2.1 Analizador de Redes

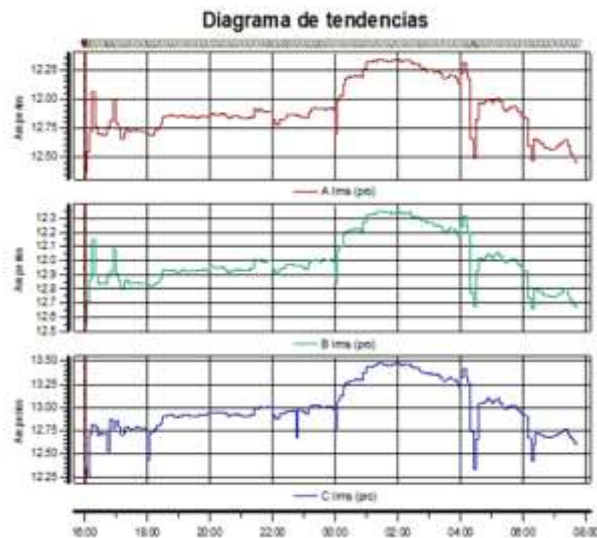
Para determinar la demanda actual en el tablero principal de iluminación y evaluar la posibilidad de futuras ampliaciones de carga, se utilizó un equipo analizador de redes eléctricas que se conectó al barraje principal. Durante una semana de medición, se registraron las gráficas de tensión por fase. Estas gráficas muestran que la tensión varía en un rango de 277V a 301V en condiciones normales de trabajo en el establecimiento. Esta variación representa un 6.5% de fluctuación en la tensión de servicio. El análisis de estas mediciones es importante para comprender el comportamiento de la red eléctrica y tomar decisiones informadas sobre la capacidad actual y futura de carga del sistema.

Figura 7-6 Curvas tensiones de fase típicas del sistema



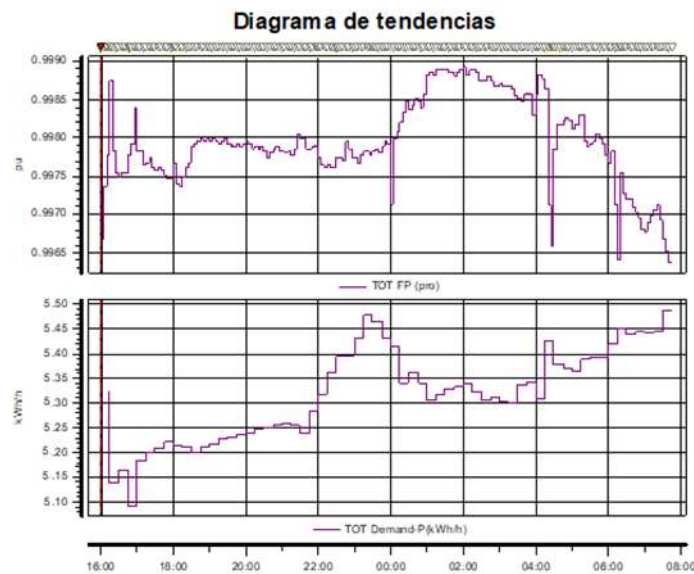
Nota: Fuente Propia.

Figura 7-7 Curvas corrientes de fase típicas del establecimiento



Nota: Fuente Propia.

Figura 7-8 Curvas consumo de fase típicas del establecimiento



Nota: Fuente Propia.

7.2.2 Costos de implementación del Proyecto

La verificación del diseño y la ejecución del proyecto en su totalidad presento un costo total el cual debe contribuir con los porcentajes establecidos.

Tabla 7-1 Costos totales para la ejecución del proyecto

OBJETO:	Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo LED, bajo los requisitos exigidos por RETILAP EN LA CASA MAQUINAS-UNIDADES PRINCIPALES -ESTACIÓN VASCONIA -CENIT, PUERTO BOYACA.				
ITEM 3:	Suministro e instalación de Luminaria LED ANTI EXPLOSION 150W (Incluye desconexión y desmontaje de Luminaria existente)				
FECHA:	SEPTIEMBRE DE 2023				
UNIDAD:	Und				
A. MATERIALES					
DESCRIPCION	UNID	CANT	VR/UNIT	VR/PARCIAL	
LUMINARIA LED ANTI EXPLOSION 150W	Und	1	\$ 3.497.767,00	\$ 3.847.543,70	
			SUBTOTAL .A	\$ 3.847.543,70	
B. MATERIALES					
CONSUMIBLES	Glb	1	\$ 70.000,00	\$ 70.000,00	
DESPERDICIO 5%				\$ 388.254,37	
			SUBTOTAL .B	\$ 458.254,37	
C. EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION	TARIFA	VR/HORA	RENDIMIENTO	VR/PARCIAL	
HERRAMIENTA MENOR (5% DE LA MANO DE OBRA)				\$ 36.970,34	
MANLIFT	\$ 1.785.000,00	\$ 223.125,00	2	\$ 535.500,00	
			SUBTOTAL .C	\$ 572.470,34	
D. MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANT	SALARIO DIA	PRESTACIONES	RENDIMIENTO	VR/PARCIAL
ELECTRICISTA	1	\$ 219.691,00	\$ 158.040,00	0,3	\$ 135.983,16
AYUDANTE ELECTRICICO	1	\$ 170.042,00	\$ 128.086,00	0,3	\$ 107.326,08
OPERADOR MANLIFT	1	\$ 208.583,00	\$ 151.338,00	0,3	\$ 129.571,56
RESCATISTA	1	\$ 170.042,00	\$ 128.086,00	0,3	\$ 107.326,08
SUPERVISOR	1	\$ 450.000,00	\$ 270.000,00	0,3	\$ 259.200,00
			SUBTOTAL .D	\$ 739.406,88	
E. TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	CANT	DISTANCIA	VR/Ton/KM	VR/PARCIAL	
MOVLIZACION DE PERSONAL	1	510000	0,3	153000	
			SUBTOTAL .E	153000	
				SUB TOTAL COSTOS DIRECTOS	
				\$ 5.770.675,00	

Nota: Fuente Propia.

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo LED, bajo los requisitos exigidos por RETILAP EN LA CASA MAQUINAS- UNIDADES PRINCIPALES -ESTACIÓN VASCONIA -CENIT, PUERTO BOYACA					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Suministro e instalacion de Luminaria LED ANTI EXPLOSION 150W (Incluye desconexion y desmontaje de Luminaria existente)	Und	39	\$5.770.675	\$225.056.325
2	Elaboracion memorias de calculo y diseños electricos y de iluminacion por área	Und	1	\$6.400.000	\$6.400.000
SUBTOTAL COSTO DIRECTO					\$231.456.325
IVA				19,0%	\$43.976.702
TOTAL					\$275.433.027
NOTAS:					
1	Todos los materiales deberán tener certificado de conformidad y cumplir con los requisitos del RETIE y RETILAP				
2	En la oferta y específicamente en el ítem de materiales de los APU, Se trabaja con base a la marca Sylvania. Se aceptarán marcas conocidas en el mercado Colombiano, ejemplo Philips, crouse-hinds y las solicitadas en la descripción de los ítems o los esquemas entregados.				
3	En la oferta se contemplan salarios acordes a tabla salarial Ocensa vigente				
PLAZO DE EJECUCION			2 MES		

Nota: Fuente Propia.

7.3 Relación costo beneficio al implementar la actualización de tecnología

Dando un enfoque en el punto relacionado con la “eficiencia en iluminación”, se relacionan las tablas del sistema, con el fin de presentar un cuadro comparativo entre Iluminación tipo sodio vs Actualización de Tecnología LED, de esta manera evidenciar la mejora en la eficiencia de la iluminación (Makaremi et al., 2018b). Consumo Iluminación Tipo Sodio y LED.

Tabla 7-2 Consumo Iluminación Tipo sodio y LED

CALCULO CONSUMO DE ENERGIA SISTEMA ILUMINACIÓN CONVENCIONAL (SODIO) AREA CASETA DE MAQUINAS							
DESCRIPCION LUMINARIA	POTENCIA (W)	CANTIDAD	CONSUMO HORA (KW)	CONSUMO DIARIO (Wh)	CONSUMO ANUAL (KWh)	VALOR KWh (\$)	VALOR CONSUMO ANUAL (\$)
LAMPARA METAL HALIDE 250W	250	39	9,75	117,00	42.705,00	\$485,26	\$20.723.211,93
COSTO TOTAL CONSUMO ENERGIA AL AÑO							\$20.723.211,93
CALCULO CONSUMO DE ENERGIA SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED AREA CASETA DE MAQUINAS							
DESCRIPCION LUMINARIA	POTENCIA (W)	CANTIDAD	CONSUMO HORA (KW)	CONSUMO DIARIO (Wh)	CONSUMO ANUAL (KWh)	VALOR KWh (\$)	VALOR CONSUMO ANUAL (\$)
LAMPARA LED 150W	150	39	5,85	70,20	25.623,00	\$485,26	\$12.433.927,16
COSTO TOTAL CONSUMO ENERGIA AL AÑO							\$12.433.927,16

Elaboración Propia

Se relaciona tabla resumen donde se evidencia el ahorro proyectado a un año con la instalación del sistema de iluminación LED.

Tabla 7-3 Proyección de ahorro por cambio de iluminación

CALCULO DEL VALOR AHORRADO PROYECTADO POR AÑO			
	CONSUMO POR ILUMINACIÓN SODIO / AÑO	CONSUMO POR ILUMINACION LED / AÑO	VALOR AHORRADO / AÑO
AREA CASA MAQUINAS	\$20.723.211,93	\$12.433.927,16	\$8.289.285

Nota: Elaboración Propia

Con la ejecución del proyecto de mejora en la iluminación en la casa maquinas, se proyecta un ahorro de \$8.289.285 /año, equivalente a un 60% de ahorro.

CALCULO DE RETORNO

Tiempo de Retorno = Inversión Inicial / Flujo de Efectivo Neto Anual

Tiempo de Retorno = 275,433,027/ 22,450,325

Tiempo de Retorno = ≈12.27 años

7.4 Calcular la reducción de la huella de carbono

Determinar la disminución de la huella de carbono

Corresponde al conjunto total de emisiones de gases con efecto invernadero liberadas de manera directa o indirecta por una persona, entidad, actividad o artículo. La medida de actividad señala el índice o intensidad de la acción que produce las emisiones de GEI. El coeficiente de emisión (FE) representa la cantidad de GEI liberados por cada unidad de la medida llamada “dato de actividad” (Makaremi et al., 2018b). Estos coeficientes cambian dependiendo de la actividad específica en cuestión.

Formula:

Huella de Carbono = Datos Actividad x Factor de Emisión

$$H = D * F \quad (4.1)$$

En Colombia el factor de emisión de CO2 por generación eléctrica del Sistema Interconectado es de 164,38 gramos de CO2 por kilovatio hora (KWh)

7.4.1 Calculo para el consumo CO2 eq con luminarias Tipo Sodio

$$H = 42.705\text{kwh} * 164,38\text{g Co2 eq} = 7.019.847,9\text{Kg CO2/Kwh}$$

7.4.2 Calculo para el consumo CO2 eq con luminarias Tipo LED

$$H = 25.623\text{kwh} * 164,38\text{g Co2 eq} = 4.211.908,74 \text{ Kg CO2/Kwh}$$

Tabla 7-4: Calculo para el consumo CO2

DESCRIPCION LUMINARIA	UNIDAD	CANTIDAD	AHORRO
CONSUMO DE ENERGIA LUMINARIAS EXISTENTES	kWh	42.705	17.082 Kwh
CONSUMO DE ENERGIA LUMINARIAS LED	kWh	25.623	
AHORRO DE IMPACTO POSITIVO AL MEDIO AMBIENTE Y A LA HUELLA DE CARBONO DE LA COMPAÑÍA			
	Kg CO2eq		2807939,16

Nota: Elaboración Propia

Se puede evidenciar que al momento de la implementación y actualización de tecnología LED proyecta un ahorro, equivalente a un 59,9% en el consumo de CO²eq. De esta manera el proyecto aporta en la innovación y el uso racional y eficiente de energía.

Capítulo 8 Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

Para el desarrollo de este proyecto se cumplió con cada uno de objetivos planteados y así dar una evaluación final en la etapa ejecución y culminación.

Debido a los bajos niveles de iluminación encontrados en la etapa de levantamiento, se verificó el diseño y se implementó un sistema de iluminación capaz de satisfacer los niveles de iluminancia en el área de casa maquinas, cumpliendo los con requerimientos mínimos y máximos establecidos en el RETILAP y la Norma ISO 8995.

Se realizó simulación utilizando el software Dialux, obteniendo los resultados coherentes a los valores tomamos al finalizar el proyecto. Además, se procedió a actualizar los planos eléctricos del área y el diagrama de carga, fortaleciendo la confiabilidad y la precisión del proyecto.

En el análisis de viabilidad económica, se pudo estimar que el costo del consumo con iluminación de sodio es de \$20,723,211.93 pesos colombianos, al implementar la iluminación LED, este valor se reduce a \$12,433,927.16 pesos colombianos anual. Se proyecta un ahorro por consumo de \$8,289,285 anual con la actualización. Además, considerando una vida útil de 20 años para las lámparas instaladas, se espera un ahorro adicional de \$14,161,040 pesos colombianos anual, por concepto de mantenimiento. Estos datos respaldan la conclusión de una inversión sólida y con un retorno a 12 años.

Finalmente, en la ejecución del proyecto, se destacaron las condiciones de iluminación en las áreas de casa máquinas de la estación Vasconia. Este proceso implicó la selección cuidadosa de luminarias eficientes, la coordinación de la instalación, y la evaluación del rendimiento posterior con un monitoreo continuo evaluando la eficacia de las luminarias instaladas.

8.2 Recomendaciones

Teniendo en cuenta el impacto visual y de uso racional y eficiente de la energía (URE), se recomienda a las filiales de la estación Vasconia (CENIT, ODC y OCENSA); implementar en todas las áreas la actualización de tecnología LED con el fin de mejorar las condiciones actuales y generar un mayor ahorro económico.

Es importante diseñar e implementar un alumbrado con bombillas de tecnología LED, debido a que es más eficiente y tiene una mayor vida útil en comparación con otras tecnologías.

Se recomienda tener en cuenta los criterios de eficiencia energética al rediseñar e implementar el sistema de iluminación, realizar una evaluación rigurosa de la iluminación necesaria para cada espacio y ambiente, utilizando herramientas como luxómetros y el software de diseño de iluminación Dialux.

Teniendo en cuenta los factores de cumplimiento de normativa, reglamento, análisis presupuestal, cantidad de luminarias y disponibilidad en la hora de entrega, según las propuestas económicas enviadas por cada marca a la empresa Consorcio SKF-OMIA, se concluye que las luminarias brindadas por SYLVANIA son la mejor opción de iluminación para la implementación de actualización LED en las áreas restantes de la estación Vasconia.

Capítulo 9 Referencias Bibliográficas

Astronomía. (2018). *Radiación electromagnética*. Obtenido de <http://www.astronomia.edu.uy/CTE2/C2.pdf>

Auer Signal. (2018). *Todo sobre la intensidad luminosa, el flujo luminoso y la iluminancia*. Obtenido de <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/indicacion-luminosa/intensidad-luminosa/>

Conforti, E. (2020). *Calcular y mejorar el factor de absorción*. Obtenido de <https://www.blog.autologica.com/es/calculare-su-factor-de-absorcion-y-descubra-como-mejorarlo/>

David. (2018). *Qué es el UGR o índice de deslumbramiento unificado*. Obtenido de Efecto Led: <https://www.efectoled.com/blog/es/ugr-indice-deslumbramiento-unificado/>

ERCO. (2023). *Capacidad visual: Definición*. Obtenido de <https://www.erco.com/es/planificacion-de-iluminacion/conocimientos-luminotecnicos/percepcion-visual/capacidad-visual-7469/>

Maldonado, M. (2015). *Tangara*. Obtenido de Evaluación, determinación y análisis técnico económico del riesgo por condiciones de iluminación: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/156345.pdf>

Marquez, J. (2020). *Diseño luminotécnico de vías públicas y zona deportiva*. Obtenido de Biblioteca digital: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15265/1/GarciaJulio_2020_Dise%C3%B1oLuminotecnicoVias.pdf

- Ministerio de minas y energía. (2010). *Resolución 18 0540*. Obtenido de <https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/2021/Resoluci%C3%B3n%20180540%20de%202010.pdf>
- Minotta, K. (2023). *Diferencia entre luminancia e iluminancia*. Obtenido de Aquateknica: <https://www.aquateknica.com/diferencia-entre-luminancia-e-iluminancia/>
- Morcillo, R. (2022). *Faro*. Obtenido de ¿Qué es la eficiencia y eficacia luminosa?: <https://faro.es/es/blog/eficiencia-y-eficacia-luminosa/>
- ONAC. (2016). *Organismo nacional de acreditación de Colombia*. Obtenido de CPR: <https://latam.ul.com/sites/g/files/qbfpbp541/files/2021-02/16-CPR-002.pdf>
- Pauwels, A. (2008). *Core*. Obtenido de Desarrollo de una cultura de investigación de índole tecnológico como visión de proyecto de vida en los estudiantes del programa de electronica: <https://core.ac.uk/download/169429843.pdf>
- Pérez, R. (2002). *Scielo*. Obtenido de Sistema internacional de unidades SI: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0367-47622002000400011
- Ramirez, J. (2012). *Repositorio*. Obtenido de Guia para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/c02e9714-b4cf-42dc-b211-bfb86a5ff27b/content>
- Universidad de Guanajuato. (2022). *Flujo luminoso, intensidad luminosa e iluminación*. Obtenido de <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-11-flujo-luminoso-intensidad-luminosa-e-iluminacion/>
- Urbe. (2018). *Marco Teórico*. Obtenido de <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0100197/cap02.pdf>
- Uriarte, H. (2018). *Luminotecnia*. Obtenido de <https://vsip.info/unidad-4-luminotecnia-2pdf-pdf-free.html>

Capitulo 10 Anexos

10.1 Anexo A: Características de luminaria

SYLVANIA

LED Explosion-Proof SYL SECURE
LED HIGH BAY SYL-SECURE 150W
P23741



Accesorio incluido:
 Soporte en U de acero inoxidable



>20 años de vida
 (Usa 12 horas al día)



Ultra Resistente



Luminaria LED diseñada para ambientes con riesgo de explosión que tienen presencia de vapores, gases inflamables o polvos combustibles, ideal para entornos hostiles y severos donde puede haber presencia de humedad, alta suciedad, polvo, ambientes corrosivos y con vibración.

CARACTERÍSTICAS

Adecuada para áreas clasificadas: Clase I, Div 2, Grupos A, B, C y D; Clase II, Div 1, Grupos E, F y G; Clase II, Div 2, Grupos F y G; Clase III.

Chasis en aleación de aluminio sin cobre y vidrio templado resistentes a la corrosión

Alta hermeticidad IP66 y lentes de vidrio resistentes a impactos y choques térmicos

Certificación internacional ETL bajo estándar UL844 (5019935)

Incluye soporte en U para montaje sobreponer muro (opcional montaje Stanchion/Colgante)

APLICACIONES

Plantas de energía eléctrica / Almacenamiento industrial pesado

Fábricas de papel, Plantas de tratamiento de aguas residuales

Muelles de carga / Plataformas / Andenes

Planta de procesamiento químico, Petroquímicas, Sector Minero

DATOS ÓPTICOS

Temperatura de color	5000 K
Flujo luminoso	9000-22500 lm
Eficiencia	150 lm/W
Angulo de apertura	100°
Tipo de distribución	T5 Opc. T1, T5
Reproducción de color (IRC)	>70
Vida útil*	100.000 h @ 25°C 65.000 h @ 40°C 40.000 h @ 55°C

DATOS FÍSICOS

Acabado	Gris
Grado de protección	IP66 / IK08
Dimensiones (LxWxH)	316x230 mm
Peso neto	5,2 Kg
Tipo de montaje**	Sobreponer
Material Chasis/Lentes	Aluminio/PC
Temperatura de operación Ta	-40°C - +60°C
Clase de Temp.:	TAA

DATOS ELÉCTRICOS

Potencia de entrada	60-150 W
Tensión de operación	100-277 V 50/60 Hz
Corriente de entrada	0.68 A @220 V
Factor de potencia	>0.95
Distorsión armónica (THD)	<20%
Tipo de driver	Corriente constante
Atenuable	0-10V

* Vida útil estimada con mantenimiento del flujo luminoso al 70% (0,70).

** Opcional montaje Stanchion/Muro 90°

DIMENSIONES



FOTOMETRIA



Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 10/22


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

by **FEILO SYLVANIA**

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

91

10.2 Anexo B: Solicitud de Pedido Consorcio SKF-OMIA

		CONSORCIO SKF - OMIA SOLICITUD DE PEDIDO			
Proyecto	Solicitante	Fecha Solicitud	N° Solicitud	Encargado de Compras	
CENIT	Eda Constanza Rodríguez Navaz	11/03/2023	3888	Johana Marcela Amaris Moreno	
Orden de Trabajo	Adjudicación Directa	Prioridad		Moneda	
24010107	NO	URGENTE		COP	
Descripción / Marca / Serie / Otro del Equipo para Solped de repuestos / otros (Obligatorio)		SOLPED DE LUMINARIAS LED PARA PROYECTO PXQ CASA MAQUINAS EN VASCONIA CENIT			

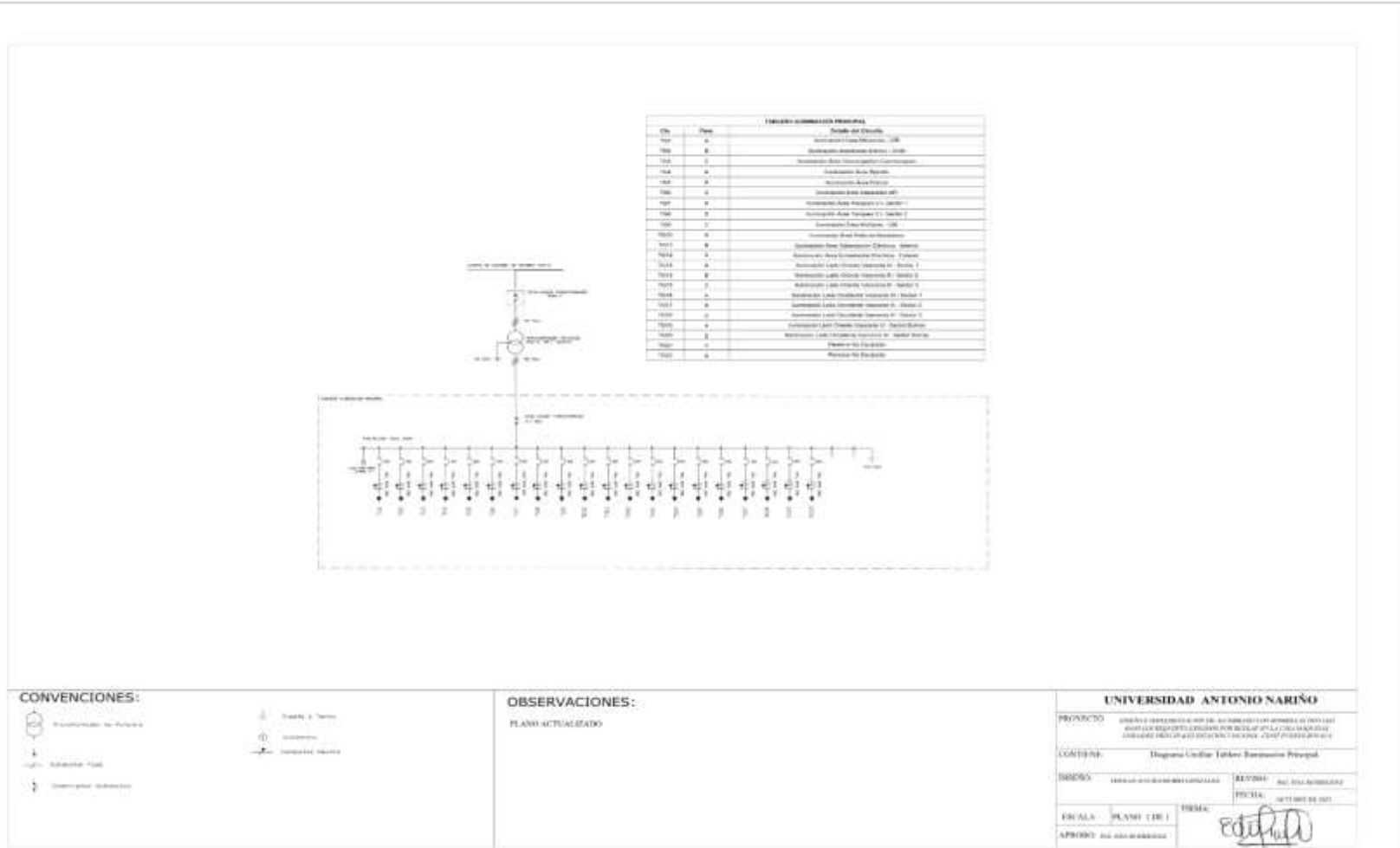
Ítem	Código SAP	Descripción	Unid.	Cant.	Precio Unitario	Subtotal Previsto	CrCo	SubCeCo	Fecha Requerida
1	20006415	Luminaria, LED, Sobreponer, Al, IP66, RETILAP, 66-150 W Luminaria Tipo De Lámpara: LED Tipo De Lámpara: Explosion-Proof SYL SECURE Material Cuerpo: Aluminio Grado de Protección: IP66 Certificación: RETILAP Características Adicionales: 100-277VAC Características Adicionales: Flujo Lumínico 9000Lm Características Adicionales: Temperatura -40° C+60° C Características Adicionales: Óptica TAA Características Adicionales: Luz Neutro 5000K Características Adicionales: Incluye Elementos Y Accesorios Características Adicionales: Adaptación Lámpara Características Adicionales: Requisitos Arranque Características Adicionales: Puente Servicios Características Adicionales: Frecuencia 60Hz Características Adicionales: Reemplazo Actuales Características Adicionales: Reemplazo: Vales Sodio Características Adicionales: Reemplazo: Sodio Alta Presión Características Adicionales: Reemplazo: Metal Halide 250W Codigo Cenit 30020359	UN	39.00	2.939.300.00	114.632.700.00	400	COMPRADI	25/05/2023

TOTAL COSTO PREVISTO (SIN IVA) : 114.632.700.00

REQUISITOS DE ENTREGA Y/O SITIO DE EJECUCIÓN DEL SERVICIO (OBLIGATORIO)	
Dirección del sitio/entrega	ESTACION VASCONIA KM 17 VIA PUERTO SERVEIZ 'Y' OFICINA PRINCIPAL DE SERVIENTREGA PUERTO BOYACA
Nombre y N° Doc. del Receptor	JHON ASDRUAL CASTRO
Número(s) Telefónico(s)	3158277327
Transporte / Manejo de carga / Empaque	COORDINAR ANTES DEL DESPACHO
Otros	NO APLICA

CONDICIONES PARTICULARES O ESPECIFICAS RELATIVAS	
El emisor debe anexas documento(s) adicional(es) que considere necesario para complementar la(s) especificación(es) de lo requerido.	
Requisitos de Seguridad y Salud en el Trabajo	NO APLICA
Requisitos Ambientales	NO APLICA
Requisitos Calidad	CERTIFICADO DE CONFORMIDAD RETIE CERTIFICADO DE GARANTIA
Requisitos Seguridad Física	NO APLICA
Requisitos Responsabilidad Social Empresarial	PRODUCTOS ORIGINALES

10.3 Anexo C: Plano Unifilar y Eléctrico del área



CONVENCIONES:

- Transformador de potencia
- Busbar
- Disyuntor
- Interruptor automático
- Relé de protección
- Relé de tiempo
- Relé de sobrecorriente
- Relé de diferencia de corriente

OBSERVACIONES:

PLANO ACTUALIZADO

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

PROYECTO: OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL SALÓN DE CLASES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

CONTIENE: Diagrama Unifilar Tablero Suministro Principal

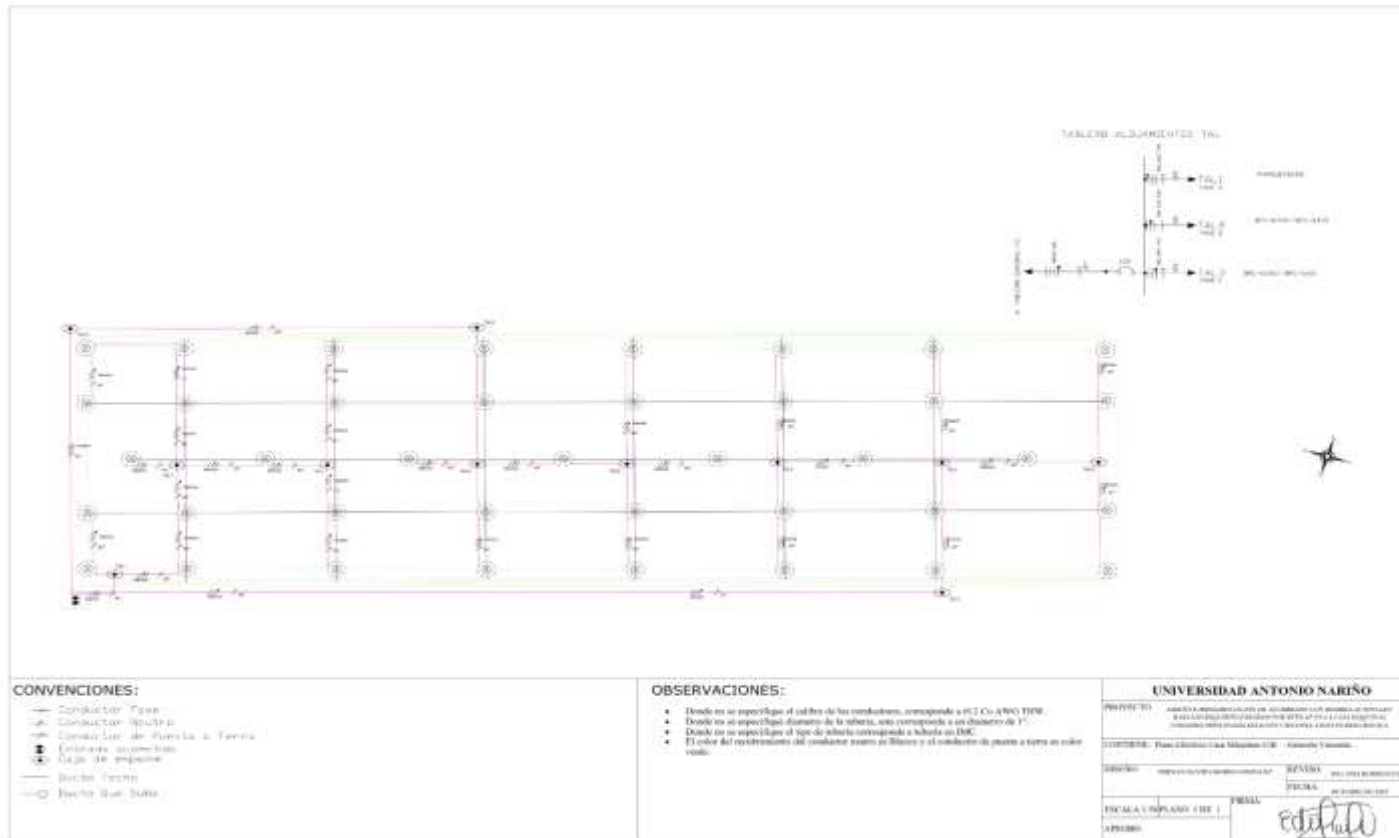
DESIGNO: [Nombre] INGENIERO EN ELECTRICIDAD

FECHA: [Fecha]

ESCALA: PLANO (1:1)

APROBO: [Firma]

10.4 Anexo D: Plano Eléctrico del área

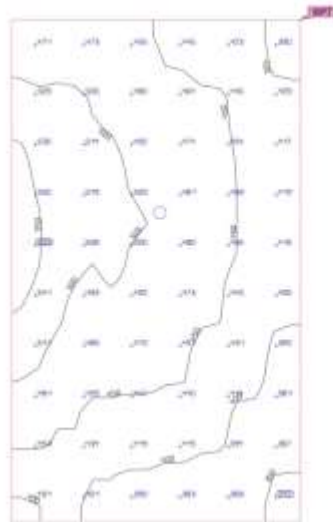


10.5 Anexo E: Plano Iluminancia Perpendicular Casa Maquias – Área BPC-6410

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETLAP EN LA CASA MÁQUINAS - UNIDADES

DIALux

Casa Maquinas · Casa Maquinas · BPC-6410 (Escena de luz 1)
Plano útil (BPC-6410)



Propiedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{max}	U ₀ (g.) (Nominal)	g _z	Índice
Plano útil (BPC-6410)	453 lx	542 lx	583 lx	0.75	0.59	WP7
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	≥ 500 lx			≥ 0.60		
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✓		

Perfil de uso: Configuración DIALux predeterminada (5.26.2 Estándar (ohms))

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

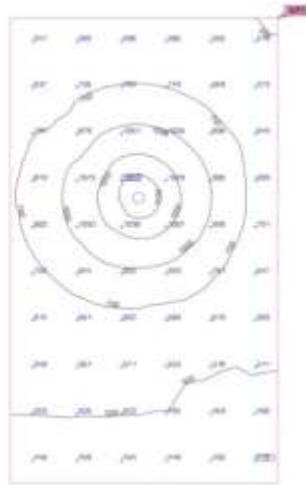
95

10.6 Anexo F: Plano Iluminancia Perpendicular Casa Maquias – Área BPC-6420

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP EN LA CASA MÁQUINAS - UNIDADES



Casa Maquinas - Casa Maquinas - BPC-6420 (Escena de luz 1)
Plano útil (BPC-6420)



Propiedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{max}	U _a (g _i) (Nominal)	g _i	Índice
Plano útil (BPC-6420)	708 lx	716 lx	1458 lx	0.79	0.29	WFS
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	≥ 500 lx			≥ 0.60		
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✓		

Perfil de luz: Configuración DIALux predeterminada(S.26.2) Escena de luz(1)

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

97

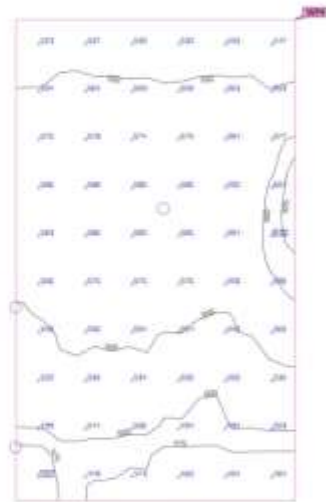
10.7 Anexo G: Plano Iluminancia Perpendicular Casa Maquias – Área BPC-6430

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP EN LA CASA MÁQUINAS – UNIDADES



Casa Maquinas - Casa Maquinas · BPC-6430 (Escena de luz 1)

Plano útil (BPC-6430)



Propiedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{max}	U _a (g) (Nominal)	g _r	Índice
Plano útil (BPC-6430)	546 lx	453 lx	633 lx	0.83	0.72	WP4
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	≥ 500 lx			≥ 0.60		
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✓		

Perfil de uso: Configuración DIALux predeterminada (5.26.2 Estándar (básico))

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

99

10.8 Anexo H: Plano Iluminancia Perpendicular Casa Maquias – Área BPC-6440

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP EN LA CASA MÁQUINAS - UNIDADES



Casa Maquinas - Casa Maquinas - BPC-6440 (Escena de luz 1)

Plano útil (BPC-6440)



Propiedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{med}	U _c (g) (Nominal)	g _r	Índice
Plano útil (BPC-6440)	549 lx	446 lx	593 lx	0.81	0.75	WP3
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 500 lx)			(≥ 0.60)		
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✓		

Perfil de uso: Configuración DIALux predefinida (S. 20.1 Estándar (oficial))

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

101

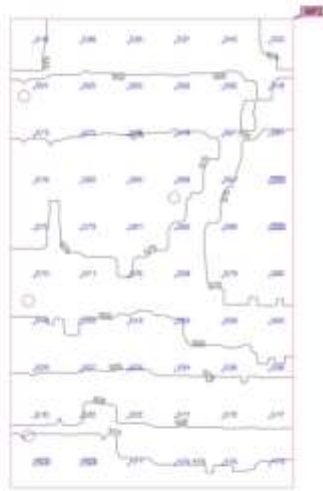
10.9 Anexo I: Plano Iluminancia Perpendicular Casa Maquias – Área BPC-Nueva

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP EN LA CASA MÁQUINAS - UNIDADES



Casa Maquinas · Casa Maquinas · BPC-NUEVA (Escena de luz 1)

Plano útil (BPC-NUEVA)



Propiedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{max}	U _c (g _r) (Nominal)	g _r	Índice
Plano útil (BPC-NUEVA)	546 lx	461 lx	595 lx	0.84	0.77	W02
Luminancia perpendicular (Adaptivamente)	≥ 500 lx			≥ 0.60		
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✓		

Ver el uso Configuración DIALux predeterminada (5.26.2) desde (oficina)

10.10 Anexo J: Plano Iluminancia Perpendicular Casa Maquias – Área Peatonal

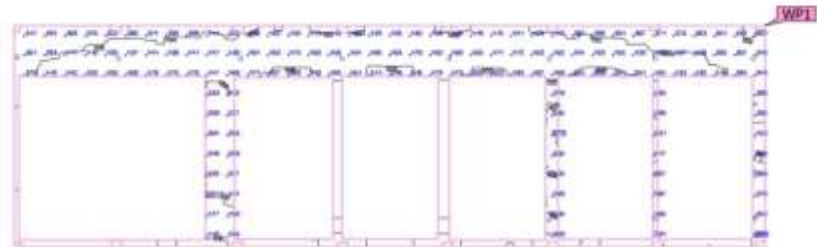
Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP en la Casa Máquinas – Unidades Principales – Estación Vasconia- Cenit, Puerto Boyacá.

Diseño e implementación de alumbrado con bombillas tipo Led bajo los requisitos exigidos por RETILAP EN LA CASA MÁQUINAS – UNIDADES



Casa Maquinas - Casa Maquinas - Area Peatonal (Escena de luz 1)

Area Peatonal



Propiedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{max}	U _a (g ₁) (Nominal)	g ₂	Índice
Area Peatonal	441 lx	486 lx	703 lx	0.65	0.41	WP1
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	≥ 500 lx			≥ 0.60		
Altura: 0.000 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✓		

Perfil de uso: Configuración: DIALux predefinida (0.30 2 E Fuente: (oficial)

10.11 Anexo K: Factura del consumo Eléctrico



GENERADORA Y COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA DEL CARIBE S.A. E.S.P.
 NIT: 900082143-0
 Dirección: Carrera 33 # 73-109, Edificio Centro Ejecutivo B, Piso 9
 Teléfonos: (005)3303181 - (005)3303000
 https://www.gecelca.com.co - Email: cfacturas@gecelca.com.co
 Vigilada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD

FACTURA ELECTRÓNICA DE VENTA SERVICIO PÚBLICO
 No. E596

Fecha Generación: 2023-04-29
 Periodo facturación: 2023-04-01 a 2023-04-30

CUFE

DATOS DEL CLIENTE

Número del cliente	NIT	Dirección correspondencia	Ciudad
ECOPETROL S.A	899999068	CRA 7A No. 37-69 EDIFICIO TEUSACA PISO 6	BOGOTÁ
Nombre frontiera	NIT	Dirección suministro	Email
ECOPETROL S.A. - VASCONIA 1 EBSA	523440946	KM 10 VIA PUERTO BOYACA BERRO	facturaelectronica@ecopetrol.com.co
Ciudad suministro	Operador de red	Clase del servicio	
PUERTO BOYACA	EBSA	INDUSTRIAL	
Código sic	Nro medidor	Nivel de tensión	 Mercado
PH04735	MT-1011A723-01	4	NO REGULADO
Forma de pago	Número del circuito	Transformador	Moneda
CANTADO		COP	

Cantidades	Calidad del Servicio SBI Mes Anterior
Energía Activa (kWh)	IR Grupo Calidad 33
Factor M	DIU INT
Energía Reactiva Inductiva Penalizada (kVar)	PIU INT
Energía Reactiva Capacitiva Penalizada (kVar)	DIUG

Componentes	s/kWh	Mes corriente	Ajustes anteriores	Total
Generación	265,8090	563,568,740	-48,675,074	514,893,666
Comercialización	15,9800	33,888,826	-399,286	33,489,540
Transmisión (*)	48,8567	103,556,067	-9,821,693	93,734,374
Distribución	34,5317	73,214,175	-925,637	72,288,538
Pérdidas (*)	9,1188	19,333,697	-1,490,100	17,838,597
Restricciones	26,7294	60,933,330	-7,600,699	53,332,631
Otros Cargos	1,3513	2,865,029	-91,724	2,773,305
Energía Inductiva+ Capacitiva Penalizada	34,5317	25,436,704	-3,034,011	22,402,743

Subtotal Energía 404.3869 882,818,617 -72,043,204 **810,775,413**

Subtotal Base Energía 810,775,413

Contribución 182,155,093

Subtotal Energía + Contribución 485,2643 972,930,496

Otros cobros 0

Subretiros 0

Recobros 0

Ajustes cargos regulados 0 **Datos del DR**

Compensaciones 0 Operador de Red EBSA

Saldo Cartera 0 Teléfono de atención a interrupciones 7405000

Interés por Mora 0 Dirección Carrera 10 No 15-87, Tunja, Boyacá

Total Servicio Energía 972,930,496 **Fecha de vencimiento** 2023-05-04

Alumbrado Público ()** 81,077,541

Impuesto Alumbrado Público 81,077,541 Hoja de entrada 1 Hoja de entrada 8

Ajuste IAF Otros Meses 0 Hoja de entrada 2 Hoja de entrada 9

Convivencia Ciudadana (*)** 0 Hoja de entrada 3 Hoja de entrada 10

Tasa Especial Convivencia Ciudadana 0 Hoja de entrada 4 Hoja de entrada 11

Ajuste Tasa Convivencia Otros Meses 0 Hoja de entrada 5 Hoja de entrada 12

Total Servicio Energía + Impuestos 1,034,008,037 Hoja de entrada 6 Hoja de entrada 13

Ajuste a la decena 0 Hoja de entrada 7 Hoja de entrada 14

Neto a pagar 1,054,008,036

Notas

(*) Ver del sic página 2
 (**) Valor del impuesto de Alumbrado Público calculado con base al acuerdo municipal correspondiente
 (***) Valor del Tasa Especial de Convivencia Ciudadana calculada con base en la Ordenanza Departamental correspondiente
Forma de pago: Cuenta Ahorros del Banco de Occidente No. 609-04328-3
 CECELCA S.A. E.S.P. en Autoretención (Res DIAN 03.406 de 26-03-2007), Grandes Contribuyentes (Res DIAN 011220 de 26-12-2022) en Barva Colombia (San Andrés), Bolívar (Sanander), Cartagena (Bolívar), Pasto (Cundinamarca), Flandes (Tolima), Mani (Casanare), Monterrey (Cauca), Reducción (Sanander), Puerto Boyacá (Boyacá), Puerto Wilches (Sanander), San Martín (Cesar), Santa Marta (Magdalena), Tiba (Norte de Sanander), Tequesipá (Cundinamarca), Yaguajay (Huila), Autor el endoso ICA en Barranquilla (Atlántico), Agentes Retención de ICA en Dibulla (La Guajira) y Barranquilla (Atlántico).

* Autorización de Suministro de Facturas Electrónicas No. 18734603262528 de 2022-08-17, Rampy E.I. hecho E-2404, vigencia 18 meses.