

**ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FLUJO LUMINOSO Y COLOR DE LUZ
DE UNA ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT**

CÓDIGO DE PROYECTO: PG-23-2-05



BARRERA ZAMBRANO BRYAN FABIAN

CÓDIGO: 1820516

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1015474539

ESPINEL CASAS DAVID FERNANDO

CÓDIGO: 1810667

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1026600168

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2024

**ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FLUJO LUMINOSO Y COLOR DE LUZ
DE UNA ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT**

BARRERA ZAMBRANO BRYAN FABIAN

CÓDIGO: 1820516

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1015474539

ESPINEL CASAS DAVID FERNANDO

CÓDIGO: 1810667

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1026600168

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

DIRECTOR:

M.SC. LUIS CARLOS MENESES

M.Sc en INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO

Ing. en mantenimiento

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

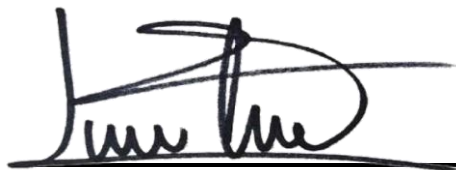
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Mecatrónica y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.



LUIS CARLOS MENESES SILVA

Director del Proyecto

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, con profunda gratitud y amor, a mi familia.

A mis padres, quienes, con su inquebrantable apoyo, sacrificio y amor incondicional, han sido la base sobre la cual he construido mis sueños. Gracias por creer en mí, incluso en los momentos en que dudaba de mí mismo. Sus enseñanzas y valores han sido mi guía constante.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y mi padre a mis familiares cercanos y lejanos, que de alguna manera han contribuido a este logro. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo ha dejado una huella imborrable en mi corazón y en mi trayectoria académica sin ellos este sueño no habría podido materializarse.

A mi director de tesis por su enorme paciencia.

A mi madre que me apoyo desde el día uno en este sueño su fe en mi fue y sigue siendo la motivación principal para seguir adelante.

Un agradecimiento al Ing. Hernando Vega y a la empresa High Lighs sin su apoyo habría sido imposible materializar este trabajo de grado.

Gracias a cada uno por ser mi sostén y mi fuente de inspiración. Este proyecto de grado es para todos ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
NOTA DE ACEPTACIÓN.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE ANEXOS	10
INTRODUCCIÓN.....	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	12
1. GENERALIDADES.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1.1. <i>Antecedentes del Problema</i>	13
1.1.2. <i>Descripción del problema</i>	13
1.1.3. <i>Formulación del problema</i>	13
1.2. Línea de investigación del programa	13
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	13
1.4. OBJETIVOS.....	14
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	14
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	14
1.5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	15
1.5.1. <i>Alcances y Limitaciones</i>	15
1.6. MARCO REFERENCIAL.....	15
1.6.1. <i>Marco Teórico</i>	15
1.6.2. <i>Estado del arte</i>	18
1.6.3. <i>Marco normativo</i>	19
1.7. MARCO METODOLÓGICO	20
1.7.1. <i>Diseño de investigación</i>	20
1.7.2. <i>Procedimiento</i>	20
1.7.3. <i>Análisis de Datos</i>	21
1.7.4. <i>Validación</i>	21
2. IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR ENCARGADO DE LA MEDICIÓN DE LUZ	22
2.1. ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT.....	22

2.2.	SELECCIÓN DEL SENSOR DE LUZ.....	23
2.3.	METODOLOGÍA EMPLEADA.....	25
2.4.	cÁLCULO DEL FACTOR k	25
3.	IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR ENCARGADO DE LA MEDICIÓN DE COLOR DE TEMPERATURA.	26
3.1.	SELECCIÓN DEL SENSOR	26
3.2.	METODOLOGÍA EMPLEADA.....	27
4.	REALIZAR LA APLICACIÓN QUE MUESTRE LOS DATOS DE MEDIDA DE LOS SENSORES DE LA ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT	30
4.1.	diagrama de conexiones	30
5.	Resultados y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DE LOS SENSORES Y LA APLICACIÓN DE LA ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT	32
5.1.	Cálculo del factor k	32
5.2.	MEDIDAS PATRÓN.....	32
5.3.	medidas de los sensores	33
5.4.	viSualizaciÓn de medidas de la aplicación	34
6.	CONCLUSIONES.....	35
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	36
8.	Referencias Bibliográficas	37
ANEXO 1. RESULTADOS DE PATRON DE MEDICIONES HIGH LIGTHS.....		40
ANEXO 2. PROGRAMACIÓN		46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Conceptos de medida de la luz.....	15
Tabla 2. Tabla de comparación de sensores.	23
Tabla 3. Ponderación de los sensores. Elaboración propia	24
Tabla 4. Lámpara utilizada GU-10.....	25
Tabla 5. Sensores de color.	26
Tabla 6. Ponderación de los sensores	27
Tabla 7. Lámpara utilizada (GU10).	27
Tabla 8. Medición de color de temperatura	28
Tabla 9. Medidas del sensor.....	32
Tabla 10. Tabla de medidas de patrón de color de temperatura CCT, flujo luminoso y lux.....	33
Tabla 11. Resultado de la medición de los sensores	33
Tabla 12. Tabla de rangos sensor de color	33
Tabla 13. Tabla de medidas de la aplicación	34
Tabla 14. Tabla de medidas de la aplicación comparativas	35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación de las variables de medición de luz	16
Figura 2. Escala de temperatura de color.....	17
Figura 3. Esfera de Ulbricht.....	22
Figura 4. Esquema de la Esfera Integradora Ulbricht	22
Figura 5. Sensor TSL 2591.....	23
Figura 6. sensor BH1750	23
Figura 7. Fotorresistencia.....	24
Figura 8. Sensor TCS34725.....	26
Figura 9. Sensor de color RGB S6428-01.....	26
Figura 10. Sensor TCS3200.....	26
Figura 11. Diagrama de conexión.....	30
Figura 12. Diagrama de conexión.....	30
Figura 13. Diagrama de comunicación.....	31
Figura 14. Visualización de la aplicación	31

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de patrón de mediciones High Lighths

ANEXO 2. programación

INTRODUCCIÓN

La esfera integradora Ulbricht es un dispositivo utilizado ampliamente en la fotometría. Se trata de una estructura esférica recubierta internamente con pintura altamente difusora de dióxido de magnesio (MgO) y desempeña un papel fundamental al proporcionar una distribución uniforme de la luz artificial en su interior, lo que conduce a mediciones más precisas y acertadas. Se emplea para medir la intensidad luminosa y distribución de la luz de diversas fuentes; así como también la potencia radiante, eficiencia, distribución de potencia espectral, temperatura de color correlacionada, entre otras estas mediciones. Estas varían de acuerdo al modelo y las actualizaciones que tengan cada una de las esferas. La esfera integradora fue introducida por Richard Ulbricht en 1900, quien realizó estudios fotométricos sobre cuál sería la mejor iluminación para las estaciones de tren. Es así como descubrió que, en una esfera hueca, la iluminación que rebota en la pared de la esta es proporcional al flujo luminoso total de la fuente que emite la luz. Por consiguiente, desarrolló un dispositivo de medición, que se compone de dos hemisferios huecos. Este dispositivo fue conocido comúnmente como esfera integradora.

Ahora bien, la eficiencia de la esfera depende en gran medida de los materiales reflectantes de recubrimiento utilizados en su interior. Por lo general, se han empleado recubrimientos de sulfato de bario y PTFE (Politetrafluoroetileno) debido a sus altas propiedades reflectantes. Recientemente, se siguen investigando nuevos materiales y técnicas de recubrimiento para mejorar la reflectancia y la durabilidad de las esferas. En años más recientes, se han realizado avances para mejorar la funcionalidad y la precisión de los instrumentos mediante la inclusión de tecnologías digitales que permiten una obtención de datos e información en tiempo real.

Las esferas han encontrado aplicaciones en diversas áreas, desde las más importantes en la industria de la iluminación hasta la investigación científica. Igualmente, se presenta una utilización diversa para medir la eficiencia de lámparas y LED's, evaluando su comportamiento, uniformidad, luminosidad, entre otras.

Este proyecto de grado introduce el concepto de la esfera integradora Ulbricht y aborda el método de medición de luminarias, considerando aspectos como su rango de luminosidad y temperatura de color. Para ello, se propone la sustitución de la fotorresistencia tradicional por sensores más avanzados y modernos en el contexto de las fotometrías. No obstante, en consonancia con el constante progreso tecnológico, la esfera integradora Ulbricht ha quedado obsoleta. Esto se debe a la necesidad apremiante de actualizar los sensores utilizados en este contexto, con el objetivo de superar las limitaciones inherentes a la fotorresistencia y, en última instancia, mejorar el rendimiento de las mediciones de luminarias. En este sentido, esta tesis se enfoca en abordar esta problemática y proponer soluciones que permitan optimizar las mediciones en el contexto actual de la iluminación.

RESUMEN

Este proyecto de grado se centra en la actualización de una esfera integradora Ulbricht para la medición del flujo luminoso y temperatura de diferentes fuentes de luz, así como en el desarrollo de una aplicación para la visualización de los datos obtenidos. La metodología de trabajo gira entorno a la integración de sensores de luminosidad y temperatura de color, y el desarrollo de una interfaz de comunicación para la transferencia de datos a la aplicación. Los resultados muestran la eficacia de la herramienta en la medición de los parámetros de luz, así como la utilidad de la aplicación para la visualización y análisis de los datos. Las conclusiones resaltan la contribución de esta investigación al desarrollo de una herramienta práctica para la caracterización de fuentes de luz, con posibles aplicaciones en diversos campos.

Palabras Clave: *esfera integradora Ulbricht, flujo luminoso, temperatura de color, medición, visualización de datos, aplicación, sensores, interfaz de comunicación, caracterización, fuentes de luz.*

ABSTRACT

This degree project focuses on the upgrade of an Ulbricht integrating sphere for the measurement of luminous flux and temperature of different light sources, as well as the development of an application for the visualization of the obtained data. The methodology involved the integration of luminance and color temperature sensors, and the development of a communication interface for data transfer to the application. The results show the effectiveness of the tool in the measurement of light parameters, as well as the usefulness of the application for the visualization and analysis of the data. The conclusions highlight the contribution of this research to the development of a practical tool for the characterization of light sources, with potential applications in various fields.

Keywords: *Ulbricht integrating sphere, Luminous flux, Temperature of color, Measurement, Data visualization, Application, Sensors, Communication interface, Characterization, Light sources*

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las esferas integradoras Ulbricht son herramientas clave, puesto que desempeña garantiza una distribución uniforme de la luz artificial en su interior, lo que proporciona una medición más precisa y acertada. No obstante, gran cantidad de estas esferas en la industria están obsoletas debido a falta de información, acceso y actualización a los sistemas mayormente utilizados.

1.1.1. Antecedentes del Problema

Pese a su importancia en la caracterización de fuentes de luz, la falta de acceso a dichas esferas y la limitada información sobre su funcionamiento, precisión y/o propósitos limita su uso. Igualmente hay que considerar que muchas de estas esferas que están en la industria han quedado desactualizadas y los sistemas que las esferas utilizan causan incompatibilidad con los sistemas apropiados en la industria. Por lo tanto, es fundamental abordar esta brecha en la información y acceso actualizando las esferas integradoras Ulbricht existentes que contribuyen a la investigación y desarrollo de fuentes de luz en diversas aplicaciones.

1.1.2. Descripción del problema

Como se puede observar en la tesis *Medida de Flujo Luminoso en Esfera de Ulbricht. Estudio de Incertidumbres. Intercomparación con Cálculo por Integración*, el ingeniero Rivero y su equipo resaltan que las esferas integradoras Ulbricht son herramientas importantes para poder caracterizar fuentes de luz. La esfera ha sido un dispositivo esencial para la medición y caracterización de bombillas debido a su masificación, pero su uso se ve limitado por diversos factores. Además, debido a retrasos en los procesos de actualización de dichas esferas, diversas industrias que dependen de la medición precisa y exacta de las fuentes de luz se han visto afectadas y restringidas a la correcta utilización de este aparato. Por tanto, las mediciones no han logrado garantizar la exactitud y precisión que una esfera Ulbricht provee.

1.1.3. Formulación del problema

¿De qué manera se puede actualizar y facilitar el acceso a la información de una esfera integradora Ulbricht, para aprovechar el material existente y contribuir en la falta de información y acceso que facilita la investigación y desarrollo de caracterización de fuentes de luz?

1.2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA

Automatización y Domótica.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La actualización de la esfera integradora Ulbricht tiene una importancia en el campo de la medición fotométrica de fuentes de luz. Teniendo en cuenta las crecientes demandas de precisión y repetibilidad en estas mediciones. Este proyecto busca desarrollar una herramienta que permita

medir de manera precisa el flujo luminoso y la temperatura de diversas fuentes de luz, además de visualizar estos datos a través de una aplicación intuitiva y accesible.

La actualización de la esfera es crucial para mejorar la exactitud y la eficiencia en la medición de parámetros como el flujo luminoso y la temperatura de color. Estas mediciones son importantes en múltiples aplicaciones industriales y científicas, incluyendo el diseño y prueba de productos de iluminación, el control de calidad en la fabricación de dispositivos lumínicos, y en investigaciones científicas que requieren datos precisos sobre la emisión de luz. En el contexto actual, donde la tecnología de iluminación está en constante evolución y las normativas sobre eficiencia energética y calidad lumínica son cada vez más estrictas, es imperativo disponer de herramientas de medición que estén actualizadas y que ofrezcan resultados confiables.

El proyecto de grado se distingue por su enfoque en la integración de nuevas tecnologías para la medición y visualización de datos. Permitiendo a los usuarios interactuar con los resultados de manera más sencilla. La actualización de la esfera Ulbricht no solo mejorará la precisión de las mediciones, sino que también simplificará el proceso de análisis y reporte de datos.

La actualización propuesta es viable gracias a la disponibilidad de nuevas tecnologías. La metodología planteada garantiza un enfoque riguroso y sistemático en la actualización de la esfera Ulbricht, asegurando que los objetivos del proyecto se cumplan de manera efectiva. La combinación de hardware y software de visualización asegura que la herramienta desarrollada será precisa y fácil de usar.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. *Objetivo General*

Realizar la actualización de la esfera integradora Ulbricht con el propósito de desarrollar una herramienta que sea capaz de medir el flujo luminoso y de temperatura de diversas fuentes de luz, así como realizar la visualización de los datos por medio de una aplicación.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- *Realizar la implementación y acondicionamiento del sensor de la esfera integradora Ulbricht encargado de la medición de luz.*
- *Realizar la implementación y acondicionamiento del sensor de la esfera integradora Ulbricht encargado de la medición de temperatura de color.*
- *Realizar la aplicación que muestre los datos de medida de los sensores de la esfera integradora Ulbricht.*
- *Pruebas de funcionamiento óptimo del sensor y la aplicación de la esfera integradora Ulbricht.*

1.5.DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.5.1. Alcances y Limitaciones

a. Alcances

El proyecto se enfocará en la implementación y la optimización de la esfera integradora por medio de la implementación del sensor.

Se llevará a cabo un proceso de calibración y caracterización para garantizar la exactitud de las mediciones realizadas con la esfera integradora. Se realizarán pruebas y validaciones para asegurar la confiabilidad de los resultados.

El proyecto permitirá la medición del flujo luminoso de una amplia variedad de fuentes de luz, incluyendo lámparas incandescentes, fluorescentes, LED, y otras tecnologías de iluminación siempre y cuando estén alimentadas con 120 voltios.

b. Limitaciones

El proyecto estará limitado por los recursos disponibles, incluyendo presupuesto, tiempo y alto costo de tecnología de vanguardia. Estas limitaciones pueden afectar la extensión de las mejoras que se pueden implementar.

A medida que se moderniza la esfera integradora, pueden surgir costos de mantenimiento adicionales debido a la necesidad de calibración y reemplazo de sensores con el tiempo.

El sensor tiene que estar complementado con una pintura reflectante para proporcionar una medición precisa.

1.6.MARCO REFERENCIAL

1.6.1. Marco Teórico

a. Medida de la luz:

Tabla 1. Conceptos de medida de la luz

Concepto	Medida y Cálculo	Definición
Luminosidad	Candela [cd]=lm/sr	Se define como la relación entre los lúmenes y el ángulo de haz de luz. Proporciona información sobre la cantidad de luz que se emite en una dirección específica.
Luminancia	Lux [lx] = lm/sr	Es la medición de la luz que llega a una superficie receptora.

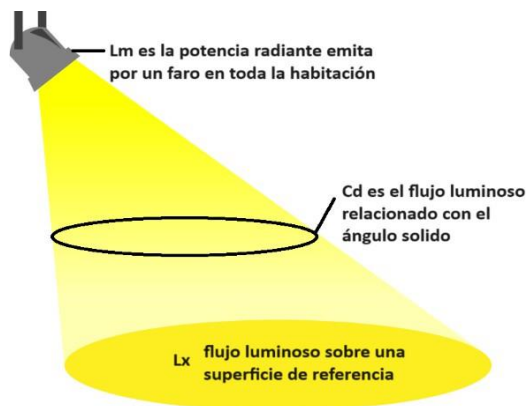
Flujo luminoso	Lumen [lm]	Es la medición de la cantidad total de luz emitida por una fuente luminosa.
Densidad luminosa	cd/m ²	Es la medición de la impresión de luminosidad de una superficie tal cual como la percibe el ojo humano.
Rendimiento Luminoso	lm/W	Representa la relación entre el flujo luminoso que se emite y la potencia eléctrica necesaria.
Intensidad Lumínica	lm*s	Representa el flujo luminoso total que se emite por una fuente lumínica por un periodo de tiempo determinado

. [1]

La variable de medida Lux proporciona información sobre la iluminancia. Es una medida de la luminosidad con la que se alumbra una zona en específico. El Lux siempre indica la cantidad de flujo luminoso Lm de una fuente emisora de luz, que llega por unidad de superficie de un receptor. El valor medido por Lux siempre será una medida receptora.

La fórmula para calcular la iluminancia es: $\text{Lux [lx]} = \text{lm/m}^2$ donde Lm es el flujo luminoso y m² simboliza la superficie en metros cuadrados.

Figura 1. Relación de las variables de medición de luz



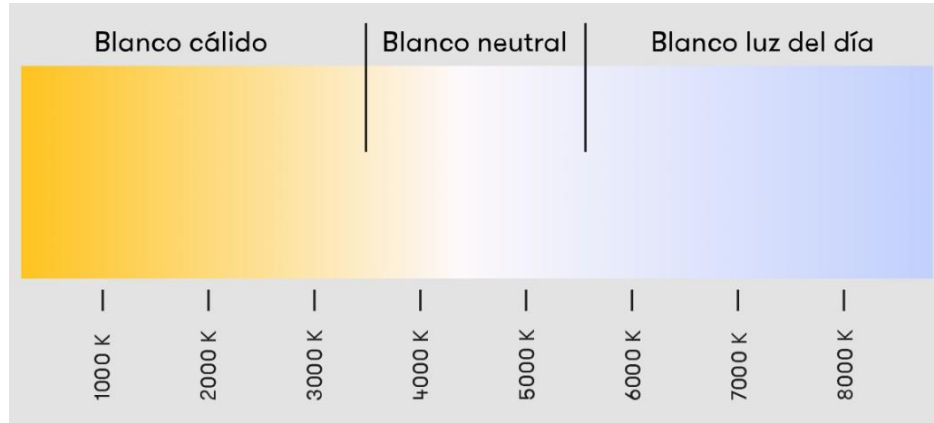
Tomado de «Intensidad luminosa y flujo luminoso | auersignal.com,»: [1]

Algunos ejemplos de referencia de luminancia se pueden ver en entornos como espacios de trabajo, oficinas, que oscilan entre los 300-500 lux; o una sala de estar entre 50-200 lux. El dispositivo encargado de esta variable de medición es conocido como Luxómetro.

b. Medida de temperatura de color:

La temperatura de color es utilizada para determinar la luz de un emisor, que puede dar una impresión de ser una luz cálida o fría. La medida del color está dada en kelvin que se determina en una escala. La relación es la siguiente: cuanto más baja sea la temperatura de color, más cálida es la percepción y, por ende, más oscura será la luz. Por el contrario, cuanto mayor sea la temperatura de color, más brillante será la luz.

Figura 2. Escala de temperatura de color.



Tomado de «Intensidad luminosa y flujo luminoso | auersignal.com,»: [1]

c. Teoría de la esfera

El flujo luminoso se suele medir en un fotómetro de esfera comparándolo con el flujo luminoso de una bombilla patrón de flujo luminoso. Según la teoría de Ulbricht el flujo luminoso de la fuente de luz está relacionado con la iluminancia directa en la superficie interna E_{ind} de la esfera integradora por:

$$\Phi = E_{ind} \cdot \frac{l-\rho}{\rho} A$$

En donde:

E_{ind} Iluminancia directa en la superficie interna de la esfera

ρ Reflectancia de la superficie interna

A Área superficial de la esfera

El factor k de la esfera sería:

$$k = \frac{l-\rho}{\rho} A$$

Este valor es conocido como el factor de la esfera. En la práctica este valor K se diferenciaría del valor teórico dado por la anterior ecuación principalmente a que la esfera no se encuentra vacía durante la medición. Por tal motivo K no se puede calcular con esa ecuación, pero se debe determinar usando una fuente de luz de referencia bombilla patrón de flujo luminoso.

$$k = \frac{\Phi_N}{E_{ind \cdot N}}$$

Donde:

$E_{ind \cdot N}$ Flujo luminoso de una bombilla patrón.

Φ_N Flujo luminoso de una bombilla patrón.

Entonces el flujo luminoso de una fuente de luz es:

$$\Phi = \Phi_N \cdot \frac{E_{ind}}{E_{ind \cdot N}}$$

1.6.2. Estado del arte

La esfera integradora Ulbricht, introducida por Richard Ulbricht en 1900, es un dispositivo ampliamente utilizado en la fotometría. Ulbricht realizó estudios fotométricos para determinar la mejor iluminación para las estaciones de tren, descubriendo que una esfera hueca puede distribuir la luz de manera uniforme. La luz que rebota en las paredes de la esfera es proporcional al flujo luminoso total de la fuente luminosa [2]. Las esferas integradoras Ulbricht son herramientas importantes para poder caracterizar fuentes de luz, pero la falta de información y acceso limita su uso. Además, hay que considerar que muchas de estas esferas en la industria se encuentran desactualizadas u obsoletas. Ahora, la principal hipótesis que se busca manejar a lo largo de esta tesis poder buscar la manera en que se puede actualizar y facilitar el acceso a la información de una esfera integradora Ulbricht, para aprovechar el material existente y contribuir en la falta de información y acceso que facilita la investigación y desarrollo de caracterización de fuentes de luz.

En la tesis doctoral titulada «Medida de Flujo Luminoso en Esfera de Ulbricht. Estudio de Incertidumbres. Intercomparación con Cálculo por Integración,» de Rivero, A. Cardozo [3], En su proceso de mejora continua, el laboratorio de fotometría del instituto de ingeniería eléctrica está en proceso de revisión de cálculo de incertidumbres en sus ensayos de flujo luminoso. Existen varias formas de determinar el flujo luminoso uno de esos métodos es determinarlo indirectamente por medio de la iluminancia este método es el que emplea la esfera integradora Ulbricht y también es el mismo método que utiliza el laboratorio de fotometría.

Una de las características más importantes de la esfera es que presenta una reflexividad lo más uniforme posible en diferentes longitudes de onda percibidas por el ojo humano la esfera una placa para que la luz no incida directamente sobre los elementos de medición esta placa está cubierta con la misma pintura de la esfera. También por la geometría de la esfera no existen puntos privilegiados en el interior ya que la luz no incide directamente en los aparatos de medición. Por tanto se puede probar que el flujo luminoso es proporcional a la intensidad luminosa por tanto aplicando la ley de cuadrado inverso se llega al valor K que es llamada constante de la esfera que depende de las dimensiones de la esfera la composición de la pintura el envejecimiento de la misma teniendo en cuenta lo anterior la se puede obtener el factor K obteniendo el flujo luminoso que emite una lámpara bajo ensayo, midiendo la iluminancia.

Comparando el método de la esfera integradora Ulbricht con el método de la matriz de distribución de intensidades el método de la esfera ofrece la posibilidad de medir un flujo considerablemente mayor de lámparas por unidad de tiempo además su procedimiento de ensayo es más simple.

En el artículo «La evolución de los laboratorios de fotometría [4], se aborda el estudio de la evolución y la forma como se mide la luz los varios métodos que existen y como estos métodos han evolucionado a lo largo de la historia reciente. Uno de estos dispositivos es conocido como la esfera integradora Ulbricht inventada por el profesor de la universidad de tu Dresde Richard Ulbricht quien es quien da nombre a este invento este invento fue presentado y aplicado en la fotometría en la década de 1920. Mediante la esfera integradora se puede medir la luz de forma espacial y cuantificar el flujo luminoso o características de colorimetría. Otro dispositivo que mide valores de intensidades luminosas es el gonio-fotómetro este aparato mide intensidades luminosas en todas las direcciones y luego realiza la integración matemática para evaluar el volumen. Debido a este procedimiento matemático permite caracterizar la luz y crear un fichero fotométrico.

Un tema de vital importancia se enfoca en la transmisión de la información fotométrica de fuentes de luz y luminarias. Se desarrollaron varios archivos fotométricos, tales como el Im-63:86. Es este formato acompañado por el formato europeo eulomdat. Por último es importante realizar fotometrías por un laboratorio acreditado según la norma ISO/IEC 1025.

En la tesis Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y análisis de estabilidad de flujo luminoso para ensayos en esfera de Ulbricht del Laboratorio de Luminotecnia del INER [5], se describe el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y estabilidad de flujo luminoso para poder realizar ensayos en la esfera Ulbricht. Se realiza una revisión bibliográfica de los conceptos básicos de la luz su comportamiento sus formas de producción las geometrías de las lámparas y principios de funcionamiento igualmente se revisan las normas internacionales vigentes el diseño y la construcción del sistema de adquisición de variables fotométricas térmicas y eléctricas además de un sistema de comunicación para poder integrar los equipos a un HMI para poder desarrollar un monitoreo y registro de los datos.

En conclusión, los autores anteriores presentan así un método para calcular la incertidumbre en la medida del flujo luminoso a partir de experimentos que se realizan con lámparas incandescentes con su referencia de flujo. Tras tener la imposibilidad de cuantificar el impacto sobre la medición por culpa de la degradación de la pintura resulta pertinente calcular el valor K periódicamente para poder evaluar la incertidumbre asociada a esta constante. Adicionalmente, la implementación del software permite monitorear las variables de los equipos analizando la estabilidad del flujo luminoso y la generación de reportes que se realicen con la esfera ulbricht bajo las normas internacionales la verificación y validación es fundamental para ello se emplean pruebas patrón trazables existentes en el laboratorio de luminotecnia del INER.

1.6.3. Marco normativo

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC, Medición del flujo luminoso / ICONTEC, Bogotá: Colombia: ICONTEC 2002, 2002.

1.7.MARCO METODOLÓGICO

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, dado que intenta obtener datos precisos y medibles de las variables flujo luminoso y la temperatura de color de diversas fuentes de luz mediante la actualización de la esfera integradora Ulbricht.

La investigación de esta tesis es de tipo experimental ya que implica la modificación y prueba del dispositivo existente para hacer una evaluación constante, mejorando sus capacidades de medición.

1.7.1. Diseño de investigación:

Etapas 1: Diagnóstico y análisis del estado actual

Revisión de la estructura mecánica de la esfera.

Identificación de las limitaciones y áreas de mejora.

Etapas 2: Actualización de la esfera integradora

Selección de materiales y componentes para la actualización (sensores).

Desarrollo del diseño técnico y planificación de las actualizaciones.

Etapas 3: Implementación de mejora

Actualización física de la esfera integradora con los nuevos materiales y componentes.

Integración de sensores avanzados para la medición de flujo luminoso y temperatura.

Etapas 4: Desarrollo de la aplicación para visualización de datos

Diseño y desarrollo de la aplicación para la visualización y análisis de los datos obtenidos.

Pruebas de funcionalidad y usabilidad de la aplicación.

Etapas 5: Validación y pruebas

Realización de pruebas experimentales con diversas fuentes de luz.

Comparación de los resultados obtenidos con los métodos tradicionales de medición.

1.7.2. Procedimiento:

- **Selección de fuentes de luz:** Selección de varias fuentes de luz para realizar pruebas (Leds, lámparas incandescentes).
- **Calibración del equipo:** instalación y calibración de los sensores de la esfera.
- *Realización de las mediciones:* Registro de los resultados de las mediciones de los sensores de flujo luminoso y temperatura de color para cada fuente de luz.
- **Análisis de datos:** se realiza el procesamiento y análisis de los datos recolectados utilizando la aplicación desarrollada.

- **Evaluación de los resultados:** se comparan los resultados con estándares establecidos y análisis de la precisión y eficiencia de la actualización realizada a la esfera.

1.7.3. Análisis de Datos:

Los datos recolectados serán analizados estadísticamente para evaluar la precisión y consistencia de las mediciones obtenidas con la esfera integradora actualizada. Se utilizarán métodos de análisis descriptivo y comparativo para interpretar los resultados y determinar la efectividad de las mejoras implementadas.

1.7.4. Validación:

La validación de la herramienta se realizará comparando los resultados obtenidos con los de otros instrumentos de medición reconocidos y aceptados en el campo de la fotometría. Además, se realizan pruebas de repetitividad y reproducibilidad para asegurar la fiabilidad del dispositivo actualizado.

2. IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR ENCARGADO DE LA MEDICIÓN DE LUZ

2.1. ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT

La esfera integradora Ulbricht cuyo interior está recubierto con una pintura de óxido de magnesio. La principal característica de esta esfera es su capacidad para exhibir una reflectividad extremadamente uniforme como precisa en todo el rango de longitudes de onda perceptibles por el ojo humano. Esta uniformidad en la reflectividad es crucial para asegurar que la luz que entra en la esfera se distribuya de manera homogénea, eliminando puntos calientes y sombras, y permitiendo mediciones precisas (Figura 3).

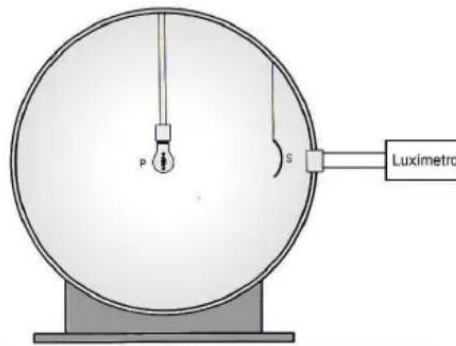
Figura 3. Esfera de Ulbricht.



Tomado de: Elaboración propia

En el centro geométrico de la esfera están las lámparas que se desean medir, y sobre la superficie de la esfera se sitúa el elemento luxómetro: es el encargado de medir la iluminancia (figura 4).

Figura 4. Esquema de la Esfera Integradora Ulbricht



Tomado de: «Medida de Flujo Luminoso en Esfera de Ulbricht. Estudio de Incertidumbres. Intercomparación con Cálculo por Integración,» [3]

Para que la esfera pueda comportarse como una esfera integradora se debe colocar una placa metálica que debe estar cubierta con la misma pintura blanca, cuya finalidad es evitar que la luz emitida incida directamente sobre el elemento de medición (sensor).

2.2. SELECCIÓN DEL SENSOR DE LUZ

Para la selección del sensor se tuvieron en cuenta varios criterios fundamentales: principalmente el rango de medición, el precio y la disponibilidad. Estos factores son esenciales para garantizar que el sensor elegido sea adecuado para las necesidades específicas del ensayo y esté dentro del presupuesto previsto.

Tabla 2. Tabla de comparación de sensores.

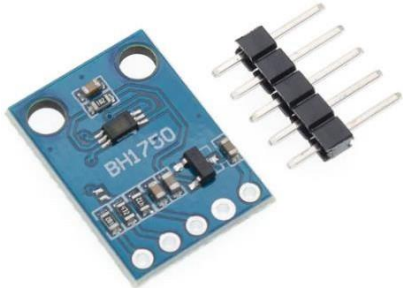
Sensor	Características
Figura 5. Sensor TSL 2591  Tomado de: naylampmechatronics.com	“Sensor avanzado de luz digital, ideal para usar en una amplia gama de situaciones de luz. En comparación con las celdas CdS de bajo costo, este sensor es preciso, permite cálculos de lux exactos y se puede configurar para diferentes rangos de ganancia/sincronización para detectar rangos de luz de hasta 188 uLUX-88.000 Lux. Eso significa que puede medir por separado la luz infrarroja, de espectro completo o visible para humanos. • Rango de voltaje: 3.3-5V. • Rango de lux: 188 uLux – 88,000 Lux. • Rango de temperatura: -30 a 80 °C. • Interfaz: I2C. • Dimensiones: 19mm x 16mm x 1mm.” [6]
Figura 6. sensor BH1750  Tomado de: es.farnell.com	El sensor ROHM original BH1750FVI es un chip con fuente de alimentación: 3-5v y rango de intensidad de luz: 0-65535 lx. Además, el BH1750 tiene un sensor incorporado en 16 convertidor de BIAD, una salida digital directa que omite cálculos complejos y calibración. Adicionalmente, el sensor no distingue entre la luz ambiental, cerca de la sensibilidad visual de las características espectrales y se puede realizar una medición de alta precisión de 1 lux para una amplia gama de brillo. Finalmente, tiene un protocolo de comunicación estándar NXP IIC y el módulo contiene Conversión de nivel de comunicación y conexión directa IO de microcontrolador de 5v. [7]

Figura 7. Fotorresistencia  Tomado de: https://drobots.wixsite.com/	“Este sensor de luz por resistencia fotosensible inteligente basado en el LM393 puede usarse para detectar cambios sensibles en la luz ambiente, por lo general para detectar el brillo ambiental y provocar cambios en módulos microcontroladores o de relés. El Módulo Sensor de Luz basa su funcionamiento en una fotorresistencia, con ella mide los datos de la intensidad de la luz ambiente. Además, cuenta con dos leds indicadores de estado, uno indica que el módulo está alimentado y otro es indicador de la señal de la fotorresistencia, el OPAMP LM393, le brinda un excelente rendimiento, así como fiabilidad. Dentro de las aplicaciones más populares para este sensor tenemos: sistemas de alumbrado, sistemas de jardinería (para regar jardín cuando haya anochecido), medidor de luz para flash, radio despertador, sistema de señalización en carretera, entre otros.” [8]
--	--

Fuente: Elaboración propia.

Tras tener una lista clara de los sensores que se podrían utilizar, se elaboró una tabla ponderando los criterios más importantes para decidir más acertada y seleccionar así el mejor sensor.

Tabla 3. Ponderación de los sensores. Elaboración propia

Criterio	Peso (%)	Sensor TSL 2591	Sensor BH1750	Fotorresistencia
Rango de Medida	30	8	7	5
Costo	20	4	8	5
Disponibilidad	15	4	6	6
Durabilidad	5	7	7	5
Precisión	10	7	6	5
Facilidad de uso	5	7	8	6
Tiempo de respuesta	10	6	7	5
Compatibilidad	5	8	8	8
total	/	51	57	40

Fuente: Elaboración propia.

Haciendo los respectivos cálculos, se obtuvo que el sensor más adecuado era el sensor **BH1750**, con un puntaje de **7,05**. En segundo lugar, el sensor **TSL 2591** con **6,2** y, en tercer lugar, la fotorresistencia con un valor de **5,35**.

2.3.METODOLOGÍA EMPLEADA

La geometría campana de la bombilla GU-10 fue especialmente relevante para este ensayo, ya que su diseño nos permitió observar cómo una luminaria de este tipo se comporta en la esfera de Ulbricht. La capacidad de la esfera para disipar la luz de manera uniforme en toda su área, junto con la pintura reflectiva de magnesio, ofreció un entorno óptimo para medir con precisión la intensidad lumínica (Lux) y los lúmenes. En resumen, la elección de la bombilla GU-10 no solo fue apropiada por sus características técnicas y su capacidad para concentrar la luz, sino también porque permitió realizar mediciones precisas y obtener resultados relevantes para el estudio de distribución lumínica:

Tabla 4. Lámpara utilizada GU-10

Denominación	lux (sensor)	flujo patrón (lm)	Flujo sensor (lm)	Factor corrección K
GU10 5.5W 120V	267,4	400-450	453.8	1.68

Fuente: Elaboración propia

2.4.CALCULO DEL FACTOR K

Tomando como referencia la bombilla GU10 5.5W 120V, se toma la medición del sensor luxómetro y se aplica el factor de corrección *K*, teniendo en cuenta la medida de flujo luminoso de la bombilla patrón.

$$k = 450 \text{ Lm} / 267,4 \text{ lux} \quad [3]$$

$$k = 1.68$$

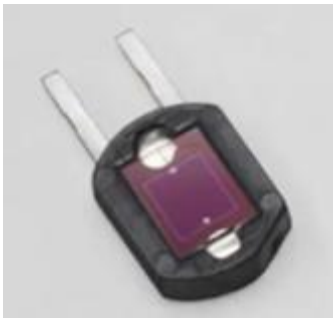
Este proceso de calibración ajusta la medida del sensor para que dé un valor mucho más preciso cada geometría de bombilla tiene un valor *K* diferente por lo que debe ser ajustado.

3. IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR ENCARGADO DE LA MEDICIÓN DE COLOR DE TEMPERATURA.

3.1. SELECCIÓN DEL SENSOR

Para la selección del sensor se tuvo en cuenta varios criterios de selección principalmente el rango el precio y disponibilidad para ello se realizó una tabla con diversos sensores disponibles en el mercado.

Tabla 5. Sensores de color.

Sensor	Características
Figura 8. Sensor TCS34725  Tomado de: https://www.luisllamas.es	“El TCS34725 es un sensor de color digital que podemos emplear con un procesador como Arduino para obtener los medir los valores RGB del color de un objeto o luz. El TCS34725 es un integrado completo que realiza un tratamiento digital de la medición de color, proporcionando los valores RGB y Clear (medición total sin filtrar). La comunicación con el sensor se realiza por I2C por lo que su lectura desde un procesador como Arduino es muy sencilla.” [9]
Figura 9. Sensor de color RGB S6428-01  Tomado de: https://www.directindustry.es	“El S6428-01 es un sensor de color diseñado para detectar respectivamente los colores monocromáticos del azul ($\lambda_p=460$ nm). -Paquete de plástico (6 × 8 mm) -Rango de respuesta espectral: 400 a 540 nm ($\lambda_p=460$ nm) -Insensible al rango IR cercano -Alta sensibilidad: 0,22 A/W Typ. ($\lambda=\lambda_p$) -Baja corriente oscura -Material del envase: Plástico -Área fotosensible: 2,8 x 2,4 mm -Rango de respuesta espectral: 400 a 540 nm -Corriente oscura (máx.): 0,02 nA - Capacidad de los terminales: 200 pF Tiempo de subida: 0,5 μs” [10]
Figura 10. Sensor TCS3200 	“Este módulo utiliza un sensor integrado provisto de 64 fotodiodos. De estos 64 fotodiodos, 16 tienen filtro para el color rojo, 16 para el color verde, 16 para el color azul y 16 para luz directa (sin ningún filtro).

Tomado de: robots-argentina.com.ar	Al estar distribuidos uniformemente sobre el chip, estos fotodiodos captan la luz, filtran los colores, y generan una salida de señal de onda cuadrada cuyo ancho de pulso indica la información sobre la intensidad del rojo (R = red: rojo), verde (G = green: verde) y azul (B = blue: azul). SENSOR DE COLOR” [11]
------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

Tras tener una lista clara de los sensores que se podrían utilizar, se elaboró una tabla ponderando los criterios más importantes para decidir más acertada y seleccionar así el mejor sensor.

Tabla 6. Ponderación de los sensores.

criterio	Peso (%)	sensor TCS34725	sensor RGB S 6428-01	sensor TCS3200
Rango de Medida	30	8	6	7
Costo	20	4	6	8
Disponibilidad	15	5	4	6
Durabilidad	5	7	6	7
Precisión	10	7	5	6
Facilidad de uso	5	4	3	7
Tiempo de respuesta	10	6	5	6
Compatibilidad	5	8	4	8
total	/	49	39	55

Fuente: Elaboración propia

El sensor escogido fue el sensor **TCS3200** ya que tuvo un puntaje de 6,9 en segundo lugar fue el sensor **TCS34725** con un puntaje de 6,2 y en tercer lugar fue el sensor **RGB S 6428-01** con un puntaje de 5,25.

3.2. METODOLOGÍA EMPLEADA

Se ensayaron una bombilla de 2 geometrías diferentes en la esfera Ulbricht de forma independiente y se tomaron mediciones de color de temperatura teniendo en cuenta el patrón de la bombilla y comparándolo con la medida del sensor. Las características de las lámparas ensayadas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 7. Lámpara utilizada (GU10).

Denominación	temperatura de color Patrón (k)	temperatura de color medida por el sensor (k)
GU10 5.5 W 120 V	1800 k – 3000 k	2920.6 k

Fuente: Elaboración propia.

El sensor toma las medidas utilizando las frecuencias RGB. Estas frecuencias son los componentes rojos (R) verde (G) y azul (B), luego de eso el sensor, junto con la programación, normaliza las frecuencias de RGB sumando las frecuencias.

$$n = r + g + b$$

Luego calcula las porciones de cada uno de los colores:

$$cred = \frac{r}{n} + \frac{g}{n} + \frac{b}{n}$$

Estos valores se deben convertir a espacio XYZ que son conocidas como espacio cromático.

$$X = 0.4124 \cdot cred + 0.3576 \cdot green + 0.1805 \cdot blue$$

$$Y = 0.2126 \cdot cred + 0.7152 \cdot green + 0.0722 \cdot blue$$

$$Z = 0.0193 \cdot cred + 0.1192 \cdot green + 0.9505 \cdot blue$$

Se deben calcular las coordenadas cromáticas relativas.

$$xc = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$yc = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Al final, estas coordenadas cromáticas se deben convertir al valor final de temperatura de color correlacionada (CCT). Se calcula (n1), que es una variable intermedia, para la fórmula final.

$$n1 = \frac{xc - 0.3320}{0.158 - yc}$$

Se utiliza una fórmula conocida como fórmula de aproximación. Esta fórmula se ajusta bien a muchas fuentes de luz típicas.

$$cct = 437 \cdot nl^3 + 3601 \cdot nl^2 + 6831 \cdot nl + 5517$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la medición del sensor en el software el sensor tiene la posibilidad de medir valores (RGB) y los valores de la temperatura de color (k) se toma una muestra de 10 n=10.

Tabla 8. Medición de color de temperatura

Coordenadas Cromáticas	Temperatura de color (k)
R= 68 G= 144 B= 154	2548
R= 58 G= 126 B= 149	3000
R= 65 G= 164 B= 164	3000
R= 68 G= 144 B= 179	3000
R= 62 G= 133 B= 145	2805
R= 61 G= 134 B= 156	3000

R= 69 G= 150 B= 166	3000
R= 71 G= 147 B= 163	2853
R= 59 G= 127 B= 146	3000
R= 64 G= 140 B= 162	3000

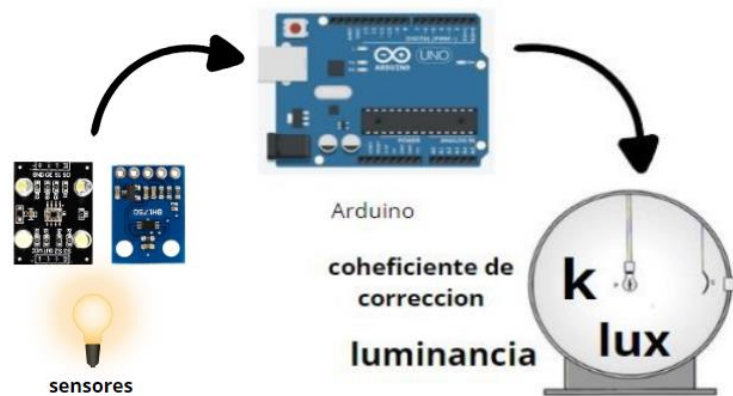
Fuente: Elaboración propia

4. REALIZAR LA APLICACIÓN QUE MUESTRE LOS DATOS DE MEDIDA DE LOS SENSORES DE LA ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT

4.1. DIAGRAMA DE CONEXIONES

La app blynk se encargó de la visualización de los datos obtenidos por ambos sensores. Por medio del microcontrolador Arduino se realizó la implantación de ambos códigos realizando las pruebas de medición de los dos sensores (color de temperatura y luz).

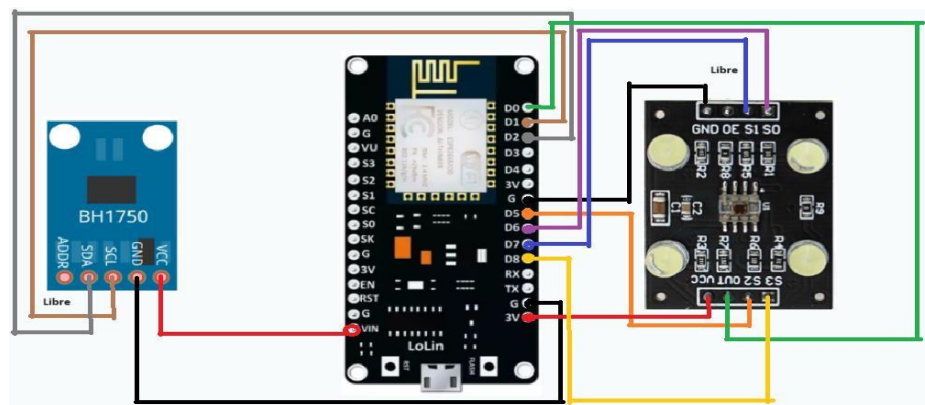
Figura 11. Diagrama de conexión



Fuente: Elaboración propia.

Para simplificar el montaje del circuito se decidió omitir la placa Arduino uno y centralizar todo en el módulo ESP 8266 ya que no solo funciona como comunicación WIFI sino que tiene incorporados un microcontrolador de 32bits, resultando ser más eficiente que el Arduino. En la siguiente imagen se logra apreciar la conexiones finales de ambos sensores.

Figura 12. Diagrama de conexión



El diagrama de comunicaciones final del proyecto de grado es el siguiente:

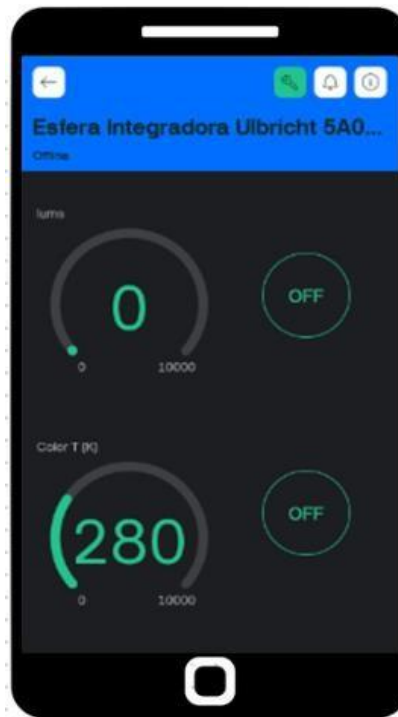
Figura 13. Diagrama de comunicación



Fuente: Elaboración propia.

Para la visualización de las mediciones optamos por usar la app blynk por su fácil uso y por su gran libertad de desarrollo, aunque resulta ser una app paga no se presentó problemas para trabajar con su versión gratuita, algo que otras app si presentaban problema. A continuación, se puede observar la visualización de la app blynk con los dos parámetros de medida:

Figura 14. Visualización de la aplicación



Fuente: Elaboración propia

5. RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DE LOS SENSORES Y LA APLICACIÓN DE LA ESFERA INTEGRADORA ULBRICHT

5.1. TABLA DE RESULTADOS DE MEDICION DEL SENSOR BH1750

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la medición del sensor luxómetro en el software. El sensor puede medir ambos valores. Se realizaron estas mediciones con la bombilla de geometría campana GU-10. Se realizó un ensayo para cada bombilla dentro de cada ensayo se tomaron 10 muestras para calcular su valor promedio y obtener la medida.

Los datos fueron obtenidos por la placa Arduino este procedimiento fue realizado para las tres bombillas se toma una muestra de $n = 10$. Estas mediciones tienen ajustado el valor de la esfera K de la bombilla de geometría campana GU-10 que es de 1.40.

Tabla 9. Medidas del sensor.

Lúmenes (lm)	lux
453	267
455	268
453	267
453	267
455	268
453	267
453	267
455	268
453	267
455	268

Fuente: Elaboración propia

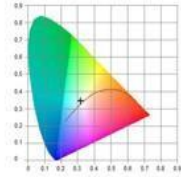
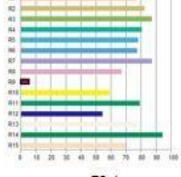
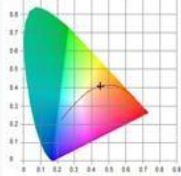
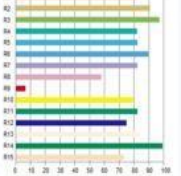
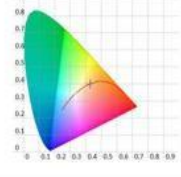
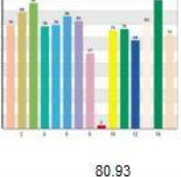
Estos resultados fueron promediados y los resultados se muestran en la tabla anterior.

5.2. MEDIDAS PATRÓN

Las medidas patrón de temperatura de color CCT y luminosidad se pueden ver en la siguiente tabla. Estas medidas se realizaron con un espectrómetro.

Imagen en página siguiente...

Tabla 10. Tabla de medidas de patrón de color de temperatura CCT, flujo luminoso y lux.

Bombilla	Temperatura de Color CCT	CIE 1931	CRI	Flujo Luminoso	LUX
 E-27 7W ESSENTIALS	CCT : 6146K x : 0.3179 y : 0.3457 λ_D : 502nm λ_P : 451nm		 79.4	778 lm	406 lux
 E-27 LED BULB A19 8W	CCT : 2804K x : 0.4511 y : 0.4078 λ_D : 584nm λ_P : 606nm		 82.7	850 lm	645 lux
 GU10 5.5W 120V	CCT : 3099 K u' : 0.2473 v' : 0.5190		 80.93	400 lm	38060 lux

Fuente: Elaboración propia.

5.3.MEDIDAS DE LOS SENSORES

La siguiente tabla muestra los resultados de la medición de los sensores y el coeficiente de corrección con la placa Arduino uno:

Tabla 11. Resultado de la medición de los sensores

Bombilla	Temperatura de Color CCT	Flujo Luminoso	LUX	Muestras	Factor K
E-27 7W ESSENTIALS (BLANCA)	6204.5 K	772 Lm	558.8	15	1.3868
E-27 LED BULB A19 8W (AMARILLO)	2804.6 K	854.4 Lm	563.9	15	1.504
GU10 5.5W 120V	2920.6 K	397.4 Lm	284.7	15	1.40

Fuente: Elaboración propia.

Para mejorar la precisión del sensor de color se elaboró una tabla de rangos para cada una de las bombillas:

Tabla 12. Tabla de rangos sensor de color

Bombilla	Temperatura de Color CCT	Rangos
E-27 7W ESSENTIALS (BLANCA)	6204.5 K	1800-6100k
E-27 LED BULB A19 8W (AMARILLO)	2804.6 K	1800-2800k
GU10 5.5W 120V	2920.6 K	1800-3000k

Fuente: Elaboración propia

5.4.VISUALIZACIÓN DE MEDIDAS DE LA APLICACIÓN

La siguiente tabla muestra de los resultados de las mediciones de la aplicación:

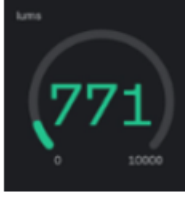
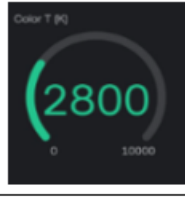
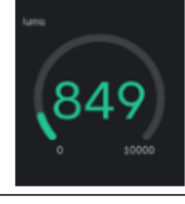
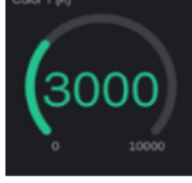
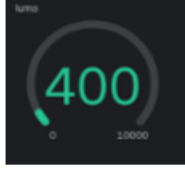
Tabla 13. Tabla de medidas de la aplicación.

Bombilla	Temperatura de Color CCT	Flujo Luminoso
E-27 7W ESSENTIALS (BLANCA)		
E-27 LED BULB A19 8W (AMARILLO)		
GU10 5.5W 120V		

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra de los resultados de las mediciones de la aplicación comparándolos con la medida patrón:

Tabla 14. Tabla de medidas de la aplicación comparativas.

Bombilla	Temperatura de Color CCT	Flujo Luminoso	Medida Patron flujo luminoso	Medida Patron CCT
E-27 7W ESSENTIAL S (BLANCA)			778 lm	6146 k
E-27 LED BULB A19 8W (AMARILLO)			850 lm	2804 k
GU10 5.5W 120V			400 lm	3099 k

6. CONCLUSIONES

- Se Realizó la implementación de los sensores para la esfera integradora Ulbricht encargado de la medición de luz y color de temperatura, logrando resultados aceptables con una medición cercana a los datos dados por hight lights, los datos obtenidos se lograron observar por medio de un módulo WIFI el cual no solo funciono como comunicación WIFI sino como un microcontrolador, disminuyendo las conexiones.
- Se desarrolló una aplicación por medio blynk que muestra los datos de medida de los sensores de la esfera integradora Ulbricht logrando captar la información de los sensores y con un requerimiento tecnológico de baja complejidad.
- Se realizaron las Pruebas para asegurar el funcionamiento óptimo de los sensores y la aplicación de visualización de la esfera integradora Ulbricht logrando los resultados cercanos en cuanto a los datos entregados (medidas patrón) por hight lights Llegado a obtener datos similares dados por high lights.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Se recomienda hacer pruebas con otras bombillas para abarcar geometrías de diferentes luminarias para que el dispositivo tenga un rango más amplio de medición.
- Se recomienda medir más variables relacionadas con la luminosidad y variables eléctricas ya que el dispositivo cuenta con las capacidades.
- Se recomienda realizar actualizaciones a la aplicación en cuanto a la visualización y soporte de esta.
- Se recomienda hacer un mantenimiento continuo a la pintura dentro de la esfera esto con el fin de no afectar las posibles mediciones que se realicen en el futuro.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Auer Signal, «Intensidad luminosa y flujo luminoso | auersignal.com,» Auer Signal - sichere Signaltechnik | auersignal.com, [En línea]. Available: <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/indicacion-luminos/intensidad-luminosa/>. [Último acceso: 18 06 2024].
- [2] LUGER RESEARCH e.U., «Using Integrating Spheres Correctly to Measure LEDs,» LED professional - LED Lighting Technology, Application Magazine, 21 junio 2016. [En línea]. Available: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/using-integrating-spheres-correctly-to-measure-leds-by-gl-optic-and-just-normlicht-gmbh>. [Último acceso: mayo 2024].
- [3] N. Rivero, A. Cardozo, G. Pérez y M. Sellanes, «Medida de Flujo Luminoso en Esfera de Ulbricht. Estudio de Incertidumbres. Intercomparación con Cálculo por Integración,» *Tesis doctoral*, vol. Univ. Republica Orient. Del Urug., nº Montevideo, p. 9, 2015.
- [4] Naylamp Mechatronics SAC, «naylamp,» Naylamp Mechatronics SAC, 2023. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-luz-y-sonido/76-modulo-sensor-de-luz-digital-bh1750.html>. [Último acceso: 04 2024].
- [5] Farnell , «Premier Farnell Limited,» An Avnet Company , 2024. [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/rohm/bh1750fvi-tr/ambient-light-sensor-i2c-wsof/dp/2421284>. [Último acceso: 04 2024].
- [6] drobots, «drobots,» wixsite, [En línea]. Available: <https://drobots.wixsite.com/drobots/product-page/sensor-fotosensible-lm393>. [Último acceso: 04 2024].
- [7] L. Llamas, «Luis Llamas. Ingeniería, informática y diseño,» Luis Llamas Ingeniería, informática y diseño, 16 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-color-rgb-tcs34725/>. [Último acceso: 04 2024].
- [8] F. A. Jenkins, H. E. White y D. G. Brukhard, «Fundamentals of Optics,» *American Journal of Physics*, vol. 26, nº 4, p. 272, 1958.
- [9] K. Carr, «Integrating Sphere Theory and Applications,» *Surface Coatings International*, vol. 80, nº 8, pp. 380-385, 2017.
- [10] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC, Medición del flujo luminoso / ICONTEC, Bogotá: Colombia: ICONTEC 2002, 2002.

- [11] ASSELUM, «Esfera integradora de ULBRICHT Everfine,» ASSELUM, 2017. [En línea]. Available: <https://asselum.com/instrumentos-laboratorio/esfera-integradora-ulbricht/>. [Último acceso: mayo 2024].

ANEXO 1.

**RESULTADOS DE PATRON DE
MEDICIONES HIGT LIGHTS**

PROYECTO PG -23-2-05

**ACTUALIZACIÓN DE UNA ESFERA INTEGRADORA
ULBRICHT**

ANEXO 1. RESULTADOS DE PATRON DE MEDICIONES HIGH LIGHTS

SPECTRUM TEST REPORT

Date : 1970/01/01

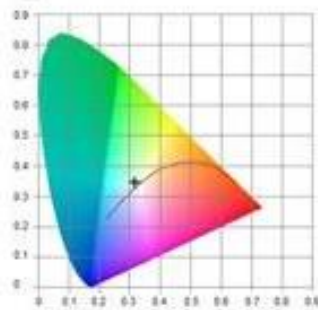
Information

User : Hernando Vega	Measure Time : 00:00:00
Model NO. : MK350N	Light Source : Bombilla A60
Memo :	

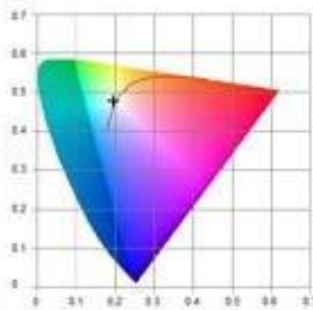
BASIC

CCT	: 6146K
x	: 0.3179
y	: 0.3457
λ_D	: 502nm
λ_P	: 451nm

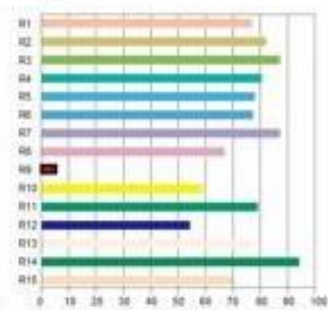
CIE1931



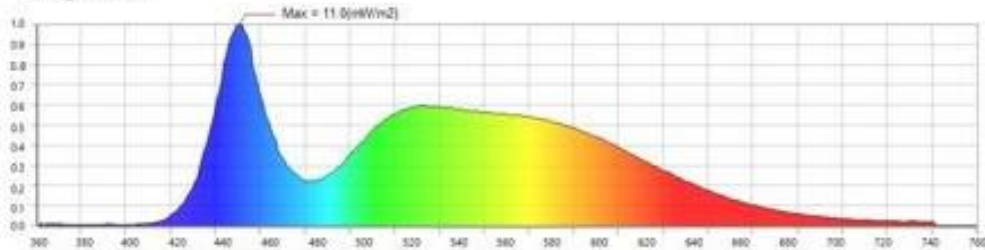
CIE1976



CRI



Spectrum



Features

CCT : 6146K	x : 0.3179	Δx : -0.0015	f_c : 37.8	PPF-R : 1.41	R1 : 76.7	R6 : 77.0	R11 : 79.0
LUX : 406	y : 0.3457	Δy : 0.0164	λ_D : 502	PPF-G : 2.74	R2 : 82.2	R7 : 87.0	R12 : 54.3
CRI : 79.4	u' : 0.1953	Δu : -0.0071	λ_P : 451	PPF-B : 1.48	R3 : 87.2	R8 : 69.9	R13 : 77.6
I-Time : 0.0000	v' : 0.4777	Δv : 0.0082	APV : 11.0	PPF-UV : 0.0101	R4 : 80.2	R9 : -5.47	R14 : 94.1
Flicker : N/A	Duv : 0.0090	Purity : 0.0475	PPF : 5.62	PPF-NIR : 0.1279	R5 : 78.0	R10 : 58.8	R15 : 69.7
SP-ratio : 2.13	CQS : 80.5	X : 374	Y : 406	Z : 395	TLCI : 69.7	GW : 83.8	

SPECTRUM TEST REPORT



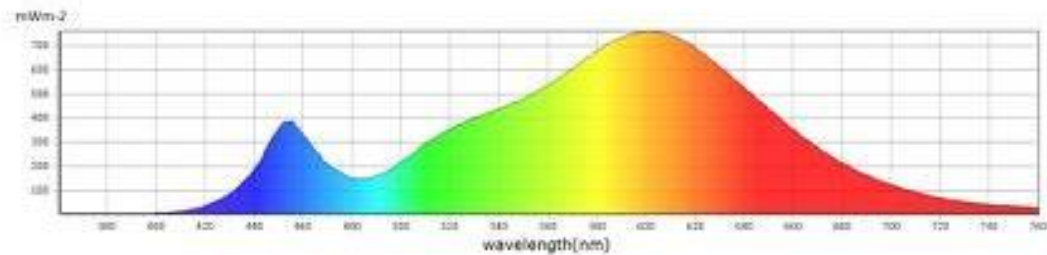
Information

User : Ing.Hernando Vega	Measure Time :
Model NO. : MK350N	Light Source :Led SMD -Bombilla
Memo : Reporte Bombilla GU10 3000K 400lm	

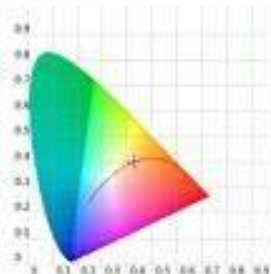
BASIC

CCT	: 3099 K
u'	: 0.2473
v'	: 0.5190
CRI	: 80.9
LUX	: 38060 lx

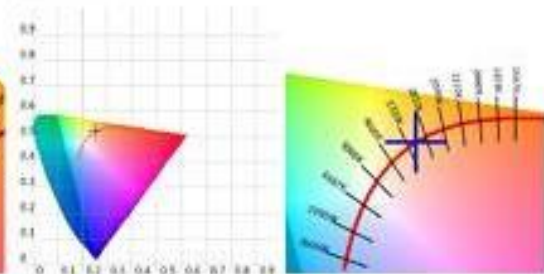
Spectrum



CIE1931



CIE1976



Features

CCT : 3099 K	x10 : 0.4364	delta x : -0.0004	lambdaD : 583 nm	PFD : 536.9 umolm-2s-1	S/P : 1.36	R3 : 96.3	R10 : 75.0
LUX : 38060 lx	y10 : 0.3958	delta y : -0.0007	lambdaP : 601 nm	PIB : 559.6 umolm-2s-1	IRI : 115.6	R4 : 78.3	R11 : 76.3
t-time : 0 ms	u'10 : 0.2539	delta u' : 0.0001	Purity : 49.11%	PFD-B : 64.71 umolm-2s-1	CG5 : 80.6	R5 : 79.2	R12 : 67.6
x : 0.4297	v'10 : 0.5190	delta v' : -0.0004	fc : 35.37	PFD-G : 236.8 umolm-2s-1	CRI : 80.9	R6 : 85.8	R13 : 81.1
y : 0.4009	X : 40293.90	Duv : -0.0002	Rf : 83.4	PFD-R : 235.3 umolm-2s-1	TLCI : 65.2	R7 : 82.2	R14 : 98.6
u' : 0.2473	Y : 38059.81	MEL : 16450 lx	Rg : 95.7	PFD-UV : 0.7798 umolm-2s-1	R1 : 79.1	R8 : 57.5	R15 : 73.6
v' : 0.5190	Z : 16089.67	lambdaPV : 760.5	GM : 56.0	PFD-IR : 21.97 umolm-2s-1	R2 : 88.0	R9 : 7.1	

Company: High

Address: Cja 33 # 19-60

Postcode/town:

test location: Bogota

Date: null

051-6436000

phone number

SPECTRUM TEST REPORT

Date : 1970/01/01

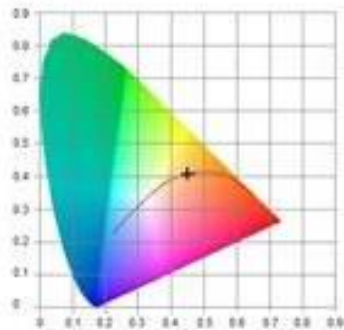
Information

User : Hernando Vega
Measure Time : 00:00:00
Model NO. : MK350N
Light Source : LED Bomb A19
Memo :

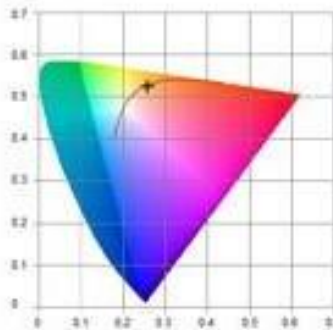
BASIC

CCT : 2804K
x : 0.4511
y : 0.4078
 λ_D : 584nm
 λ_P : 606nm

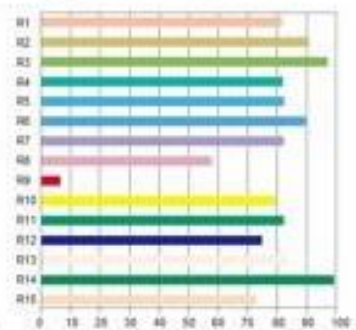
CIE1931



CIE1976



CRI



Spectrum



Features

CCT : 2804K	x : 0.4511	Δx : -0.0004	f_c : 59.9	PPF-R : 4.47	R1 : 81.4	R9 : 89.4	R11 : 82.1
LUX : 645	y : 0.4078	Δy : -0.0008	λ_D : 584	PPF-G : 3.91	R2 : 90.4	R7 : 82.0	R12 : 74.8
CRI : 82.7	u' : 0.2581	Δu : 0.0001	λ_P : 606	PPF-B : 0.8804	R3 : 96.9	R8 : 57.9	R13 : 83.3
I-Time : 0.0000	v' : 0.5250	Δv : -0.0004	MPV : 13.9	PPF-UY : 0.0138	R4 : 81.7	R9 : 6.64	R14 : 99.0
Flicker : N/A	Duv : -0.0002	Purity : 0.5772	PPF : 9.26	PPF-MR : 0.3861	R5 : 82.0	R10 : 79.2	R15 : 72.8
SP-ratio : 1.25	CQS : 82.2	X : 713	Y : 645	Z : 223	TLCI : 64.8	GA : 49.5	

Proyecto 1



DIALux

10.06.2024

High Lights S.A.S
Cra 33 No 19-26

Proyecto elaborado por Hernando Vega
Teléfono 061-6466000
Fax
e-Mail hvega@highlights.com.co

HIGH LIGHTS S.A 001 LED BULB A19 E-27 8W-2700K / Hoja de datos del alumbrado de emergencia

Luminaria: HIGH LIGHTS S.A 001 LED BULB A19 E-27 8W-2700K

Lámparas: 1 x LED

Índice de reproducción de color:	80
Flujo luminoso:	850 lm
Factor de corrección:	1.000
Factor de alumbrado de emergencia:	1.00
Flujo luminoso de alumbrado de emergencia:	850 lm
Grado de eficacia de funcionamiento:	100.00
Grado de eficacia de funcionamiento (medio local inferior):	65.48
Grado de eficacia de funcionamiento (medio local superior):	34.52

Evaluación del deslumbramiento (Intensidades lumínicas máximas [cd])

	C0	C90	C0 - C360
Gamma 60° - 90°	94.4	91.8	95.3
Gamma 0° - 180°	99.4	97.7	100.3

Proyecto 1



DIALux

12.06.2024

High Lights S.A.S
Cra 33 No 19-26

Proyecto elaborado por Hernando Vega
Teléfono 061-6466000
Fax
e-Mail hvega@highlights.com.co

High Lights S.A.S 940 BOM E27 7W 595LM ESSENTIALS / Hoja de datos del alumbrado de emergencia

Luminaria: High Lights S.A.S 940 BOM E27 7W 595LM ESSENTIALS

Lámparas: 1 x COB

Índice de reproducción de color:	80
Flujo luminoso:	778 lm
Factor de corrección:	1.000
Factor de alumbrado de emergencia:	1.00
Flujo luminoso de alumbrado de emergencia:	778 lm
Grado de eficacia de funcionamiento:	100.00
Grado de eficacia de funcionamiento (medio local inferior):	49.96
Grado de eficacia de funcionamiento (medio local superior):	50.04

Evaluación del deslumbramiento (Intensidades lumínicas máximas [cd])

	C0	C90	C0 - C360
Gamma 60° - 90°	17.2	60.7	119.0
Gamma 0° - 180°	56.2	61.7	123.5

Proyecto 1



DIALux

26.06.2024

High Lights S.A.S
Cra 33 No 19-26

Proyecto elaborado por: Hernando Vega
Teléfono: 061-6466000
Fax:
e-Mail: hvega@highlights.com.co

High Lights S.A.S 712 BOM GU10 5.5W 120V 1800-3000K 40° / Hoja de datos del alumbrado de emergencia

Luminaria: High Lights S.A.S 712 BOM GU10 5.5W 120V 1800-3000K 40°

Lámparas: 1 x SMD

Índice de reproducción de color:	80
Flujo luminoso:	400 lm
Factor de corrección:	1.000
Factor de alumbrado de emergencia:	1.00
Flujo luminoso de alumbrado de emergencia:	400 lm
Grado de eficacia de funcionamiento:	99.98
Grado de eficacia de funcionamiento (medio local inferior):	100.00
Grado de eficacia de funcionamiento (medio local superior):	0.00

Evaluación del deslumbramiento (Intensidades luminicas máximas [cd])

	C0	C90	C0 - C360
Gamma 60° - 90°	30.1	20.3	30.1
Gamma 0° - 180°	442.7	441.3	442.7

ANEXO 2.

PROGRAMACIÓN

PROYECTO PG -23-2-05

ACTUALIZACIÓN DE UNA ESFERA INTEGRADORA

ULBRICHT

ANEXO 2. PROGRAMACIÓN

