



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ILUMINACIÓN INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA LED
PARA MITIGAR EL EFECTO ESTROBOSCÓPICO EN
MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: ANTHONY RAFAEL DUTÁN ROJAS

DIRECTOR: ING. OSCAR MAURICIO SIGUENCIA SIGUENZA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ILUMINACIÓN INTELIGENTE CON TECNOLOGÍA LED PARA
MITIGAR EL EFECTO ESTROBOSCÓPICO EN MÁQUINAS
ELÉCTRICAS ROTATORIAS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: ANTHONY RAFAEL DUTÁN ROJAS

DIRECTOR: ING.OSCAR MAURICIO SIGUENCIA SIGUENZA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Anthony Rafael Dután Rojas portador de la cédula de ciudadanía N° 0302306675. Declaro ser el autor de la obra: "Iluminación inteligente con tecnología led para mitigar el efecto estroboscópico en máquinas eléctricas rotatorias", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 3 de julio de 2024



Anthony Rafael Dután Rojas

0302306675

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Anthony Rafael Dután Rojas, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'O' followed by several loops and a final flourish.

Ing. Oscar Mauricio Siguenza Siguenza

DIRECTOR

DEDICATORIA

Desde el fondo de mi alma quiero dedicar este trabajo de titulación y todos los años que estudie esta maravillosa carrera a Dios por darme la salud, la vida y la oportunidad de llegar a cumplir este bellissimo sueño. Además, este logro cumplido está dedicado a la mujer más hermosa de mi vida, mi mamita Ana Luisa Cajamarca Naspud, porque se lo merece esto y mucho más. Por cuidar de mi desde que era un niño, por darme su amor incondicional, porque todo lo que soy y he logrado es gracias a usted, mi mamita querida. Finalmente, también dedico este trabajo a mi querido papito Víctor Rafael Dután Cajamarca, por ser un hombre trabajador que siempre busco lo mejor para mí a pesar de la distancia. Esto va dedicado para ustedes con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco desde el fondo de mi alma a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este proceso. A mi querida mamita Ana Luisa Cajamarca Naspud, le debo todo mi agradecimiento por acompañarme a lo largo de este camino. Ella ha sido mi pilar inquebrantable, soportando todos mis malos momentos y enseñándome que la palabra rendirse no existe en nuestro vocabulario. Gracias mamita, por cada palabra de aliento, y por demostrarme con su ejemplo que, con esfuerzo, dedicación, responsabilidad y honestidad, se puede alcanzar los sueños más espectaculares. Este logro es tanto suyo como mío, pues sin su apoyo y sacrificio, este sueño no habría sido posible. Además, agradezco a mi papito Víctor Rafael Dután Rojas, por su incondicional apoyo y sabias enseñanzas que han sido fundamentales en mi vida.

De manera muy especial, quiero agradecer a mi tutor Ing. Oscar Mauricio Siguenza Siguenza, por confiar en mí, por su valiosa guía y por su constante apoyo durante este proceso. No solo es un excelente profesional, sino también una persona extraordinaria, siempre dispuesto a brindar su ayuda con amabilidad y comprensión. Su conocimiento, paciencia y dedicación han sido cruciales para el éxito de este proyecto, y su calidad humana ha hecho de esta experiencia algo verdaderamente inolvidable.

Además, quiero agradecer a mis tías Rosa Dután y Mercedes Dután por sus sabios consejos y su apoyo incondicional. Su cariño y guía han sido un faro constante en mi camino, inspirándome y fortaleciéndome en cada paso hacia este logro. Finalmente, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Nayeli Lissbeth, por ser mi compañera de lucha incansable. Su presencia ha sido fundamental en los momentos difíciles, animándome y recordándome que, a pesar de las adversidades, siempre hay una manera de superar los desafíos.

RESUMEN

En la actualidad las maquinas eléctricas rotatorias buscan optimizar los diferentes procesos industriales, tal es el caso de la industria alimenticia, sin embargo, el principal problema que presentan los discos o hélices de corte al ser acoplados a la maquina eléctrica son los efectos estroboscópicos, es por ende que el presente proyecto de investigación mediante el uso de metodología documental y de campo se diseñó y se construyó un sistema de iluminación inteligente con tecnología LED para los procesos de corte de alimentos orgánicos que permita distribuir los niveles de iluminación adecuados para etapa de velocidad con la que se realice el proceso. Además, mediante el análisis de datos fotométricos obtenidos por las fuentes luminosas seleccionadas se determinó que, la fuente más apropiada para el sistema fue la de 12W en nivel de tensión de 220V. Con respecto a los resultados obtenidos de la mitigación del fenómeno estroboscópico, se obtuvo que el nivel de iluminación proporcionado por la estructura lumínica mitiga el fenómeno en el rango de 600 a 1800rpm, con una variación de la iluminancia de 300lx a 769lx. Con este estudio, se demuestra que la integración de equipos de control y luminarias con tecnología LED, es una alternativa fiable para solventar los efectos estroboscópicos que presentan los motores eléctricos.

Palabras clave: Iluminación inteligente, efecto estroboscópico, maquinas rotatorias, IoT.

ABSTRACT

Nowadays, rotary electric machines seek to optimize different industrial processes, such as those in the food industry. However, the stroboscopic effects are the main problem that the cutting discs or propellers present when they are coupled to the electric machine. Therefore, this research project was designed through documentary and field methodology to build an intelligent lighting system with LED technology for organic food-cutting processes that allows to distribute the appropriate lighting levels for the speed stage with which the process is performed. Consequently, it was determined that the most appropriate source for the system was the 12W at a voltage level of 220V through the analysis of photometric data obtained by the selected light sources. Regarding the results obtained for the mitigation of the stroboscopic phenomenon, the level of illumination provided by the luminous structure mitigates the phenomenon in the range of 600 to 1800rpm, with a variation of illuminance from 300lx to 769lx. This research shows that the integration of control equipment and luminaires with LED technology is a reliable alternative to solve the stroboscopic effects presented by electric motors.

Keywords: intelligent lighting, stroboscopic effects, rotating machines, IoT

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARATÓRIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD	i
CERTIFICACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
CAPITULO I.....	- 14 -
1. INTRODUCCIÓN.....	- 14 -
1.1 El problema	- 15 -
1.1.1 <i>Formulación del problema</i>	- 15 -
1.1.2 <i>Delimitación del problema</i>	- 16 -
1.2 Justificación	- 16 -
1.3 Objetivos	- 17 -
1.3.1 Objetivo general	- 17 -
1.3.2 Objetivos específicos	- 17 -
CAPITULO II.....	- 18 -
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	- 18 -
2.1 Motores eléctricos de corriente alterna	- 18 -
2.1.1 <i>Fundamentos de magnetismo</i>	- 19 -
2.1.2 <i>La inducción electromagnética</i>	- 19 -
2.1.3 <i>Ley de inducción electromagnética de Faraday</i>	- 20 -
2.1.4 <i>Principio de operación</i>	- 21 -
2.1.5 <i>Potencia y torque en las maquinas rotatorias</i>	- 22 -
2.1.6 <i>Velocidad del motor</i>	- 23 -
2.2 Categorías de los motores eléctricos de corriente alterna.....	- 23 -
2.2.1 <i>Motores síncronos</i>	- 23 -
2.2.2.1 <i>Relación entre el par y velocidad</i>	- 23 -
2.2.2.2 <i>Componentes del motor síncrono</i>	- 24 -
2.2.2 <i>Motores asíncronos o de inducción</i>	- 25 -
2.2.2.1 <i>Relación entre el par y velocidad</i>	- 25 -
2.2.2.2 <i>Componentes del motor asíncrono</i>	- 26 -
2.3 Sistema de Iluminación.....	- 26 -
2.3.1 <i>Magnitudes y unidades lumínicas</i>	- 27 -
2.3.1.1 <i>Flujo luminoso</i>	- 27 -
2.3.1.2 <i>Intensidad luminosa</i>	- 27 -
2.3.1.3 <i>Iluminancia</i>	- 28 -

2.3.1.4	<i>Luminancia</i>	- 29 -
2.3.1.5	<i>Eficiencia luminosa</i>	- 30 -
2.3.2	<i>Pautas esenciales para el modelado de la iluminación interior</i>	- 30 -
2.3.2.1	<i>Deslumbramiento</i>	- 30 -
2.3.2.2	<i>Uniformidad</i>	- 31 -
2.3.3	<i>Tecnología LED</i>	- 31 -
2.3.4	<i>Iluminación inteligente</i>	- 32 -
2.4	<i>Visión humana</i>	- 32 -
2.4.1	<i>Agudeza y campo visual</i>	- 32 -
2.4.2	<i>Fatiga visual</i>	- 33 -
2.5	<i>Efecto estroboscópico</i>	- 34 -
2.5.1	<i>Efecto estroboscópico en motores eléctricos</i>	- 34 -
2.6	<i>Reglamento técnico de iluminación</i>	- 34 -
3.	DESARROLLO METODOLÓGICO	- 36 -
3.1	<i>Investigación aplicada</i>	- 36 -
3.2	<i>Desarrollo de la propuesta</i>	- 36 -
4.	DISEÑO DEL SISTEMA ILUMINACIÓN INTELIGENTE CON TECNOLOGIA LED PARA MITIGAR EL EFECTO ESTROBOSCÓPICO EN MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS .	- 40 -
4.1	<i>Definición de software y hardware</i>	- 41 -
4.1.1	<i>Software</i>	- 41 -
4.1.2	<i>Hardware electrónico</i>	- 43 -
4.1.3	<i>Hardware eléctrico</i>	- 44 -
4.1.4	<i>Hardware lumínico</i>	- 46 -
4.1.5	<i>Instrumentación</i>	- 47 -
4.2	<i>Protocolos y medios de enlace</i>	- 48 -
4.2.1	<i>Pila de protocolos bluetooth</i>	- 49 -
4.2.2	<i>Medio de enlace USB</i>	- 50 -
4.2.3	<i>Protocolo de comunicación ESP-NOW</i>	- 50 -
4.3	<i>Modelado 3D de las condiciones lumínicas del área de aplicación</i>	- 51 -
4.3.1	<i>Determinación de las dimensiones del área del local</i>	- 51 -
4.3.2	<i>Levantamiento fotométrico del área de estudio</i>	- 52 -
4.4	<i>Diseño de la estructura lumínica</i>	- 54 -
4.4.1	<i>Componentes y características</i>	- 54 -
4.5	<i>Análisis fotométrico de las fuentes luminosas</i>	- 56 -
4.5.1	<i>Datos fotométricos dada por la esfera de Ulbricht</i>	- 56 -
4.5.2	<i>Evaluación fotométrica de la fuente de 12W</i>	- 57 -
4.5.3	<i>Evaluación fotométrica de la fuente de 30W</i>	- 61 -
4.5.4	<i>Evaluación fotométrica de la fuente de 100W</i>	- 65 -
4.6	<i>Diagramas de conexión de componentes de la planta emisora</i>	- 69 -

4.6.1	<i>Esquema del receptor de luz</i>	- 69 -
4.6.2	<i>Diagrama de conexión del ESP-32_emisor con el sensor fotodiodo</i>	- 69 -
4.6.3	<i>Diagrama del divisor de tensión</i>	- 70 -
4.6.4	<i>Diagrama funcional del motor</i>	- 72 -
4.6.5	<i>Diagrama general del sistema emisor</i>	- 72 -
4.7	Diagrama de conexión de componentes de la planta receptora.....	- 73 -
4.7.1	<i>Operación automática</i>	- 73 -
4.7.2	<i>Operación manual o de emergencia</i>	- 74 -
4.8	Definición de los algoritmos	- 78 -
4.8.1	<i>Planta emisora</i>	- 78 -
4.8.2	<i>Planta receptora</i>	- 79 -
5.	ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS.....	- 80 -
5.1	Implementación del sistema emisor	- 80 -
5.1.1	<i>Calibración del módulo de alimentación</i>	- 80 -
5.1.2	<i>Calibración del variador de frecuencia CHNT(NVF300M)</i>	- 80 -
5.1.3	<i>Conexión del equipo de operación</i>	- 81 -
5.1.4	<i>Construcción y adecuación de la hélice</i>	- 82 -
5.1.5	<i>Ensamblado del sensor fotodiodo</i>	- 83 -
5.1.6	<i>Ensamblado del ESP_32_emisor y divisor de tensión</i>	- 83 -
5.1.7	<i>Vista general del sistema emisor</i>	- 83 -
5.2	Implementación del sistema receptor.....	- 84 -
5.2.1	<i>Ensamblado de sistema de control</i>	- 84 -
5.2.2	<i>Alimentación eléctrica para estructura lumínica</i>	- 85 -
5.2.3	<i>Montaje de la estructura lumínica</i>	- 85 -
5.2.4	<i>Vista general del sistema emisor</i>	- 86 -
5.3	Operación del sistema de iluminación inteligente	- 87 -
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 91 -
6.1	Conclusiones	- 91 -
6.2	Recomendaciones	- 93 -
7.	REFERENCIAS	- 94 -
8.	ANEXOS (Programaciones y pruebas de funcionamiento)	- 98 -
	AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	- 115 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sinusoide de las fases del motor	- 18 -
Figura 2. Clasificación magnética del imán.	- 19 -
Figura 3. Inducción electromagnética.	- 19 -
Figura 4. Disposición constructiva del estátor.	- 21 -
Figura 5. Disposición constructiva del rotor.....	- 22 -
Figura 6. Torque en un motor eléctrico.	- 22 -
Figura 7. Relación entre velocidad y tamaño de la maquina eléctrica rotatoria.	- 23 -
Figura 8. Partes del motor síncrono del tipo de polos salientes y armadura giratoria: (a) Corte transversal de la maquina síncrona (b) Sección axial de una maquina síncrona.....	- 24 -
Figura 9. Desarrollo de un par inducido en un motor de inducción.....	- 26 -
Figura 10. Partes del motor trifásico asíncrono de corriente alterna.....	- 26 -
Figura 11. Flujo luminoso dado por una fuente luminosa.	- 27 -
Figura 12. (a) Intensidad luminosa, (b) Angulo sólido.	- 28 -
Figura 13. Nivel de iluminación sobre una superficie cuadrada.....	- 28 -
Figura 14. (a)Luminancia; (b) Superficie aparente	- 29 -
Figura 15. Deslumbramiento: (a) directo; (b) reflexión.	- 31 -
Figura 16. Áreas del campo visual del ojo humano.	- 33 -
Figura 17. Fases de la metodología a realizarse en la investigación.....	- 40 -
Figura 18. Pila de protocolos Bluetooth.....	- 49 -
Figura 19. Comparación del modelo OSI y pilas Bluetooth.	- 50 -
Figura 20. Comunicación de datos mediante cable Micro USB.	- 50 -
Figura 21. Conexión entre dispositivos (ESP-32) mediante el protocolo ESP-NOW.	- 51 -
Figura 22. Representación espacial y distribución de luminarias en el área de estudio. ..	- 52 -
Figura 23. Levantamiento de la iluminancia del área de estudio.	- 52 -
Figura 24. Perspectiva del modelo del área de estudio.....	- 53 -
Figura 25. Grafica de colores de la distribución de la iluminancia.	- 53 -
Figura 26. Curva de distribución de la iluminancia.	- 54 -
Figura 27. Disposición de soportes para la estructura lumínica.	- 55 -
Figura 28. Diseño de la caja para equipos de control.....	- 55 -
Figura 29. Diseño general de la estructura lumínica.	- 56 -
Figura 30. LPCE-2 (LMA-9000) sistema de esfera integradora de espectrorradiómetro. .-	- 56 -
Figura 31. Curva del tiempo de estabilización de las fuentes luminosas.	- 57 -
Figura 32. Encapsulado de las fuentes luminosa para el análisis fotométrico.	- 57 -
Figura 33. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 110V/12W.....	- 58 -
Figura 34. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 110V/12W.....	- 59 -
Figura 35. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 220V/12W.....	- 60 -
Figura 36. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 220V/12W.....	- 61 -
Figura 37. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 110V/30W.....	- 62 -

Figura 38. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 110V/30W	- 63 -
Figura 39. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 220V/30W	- 64 -
Figura 40. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 220V/30W	- 64 -
Figura 41. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 110V/100W.	- 65 -
Figura 42. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 110V/100W.....	- 66 -
Figura 43. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 220V/100W.	- 67 -
Figura 44. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 220V/100W.....	- 68 -
Figura 45. Esquema de conexión del sensor fotodiodo.	- 69 -
Figura 46. Esquema de conexión del ESP_32_emisor con el circuito del fotodiodo.....	- 70 -
Figura 47. Divisor de tensión	- 70 -
Figura 48. Esquema de conexión del divisor de tensión al variador y al ESP_32_emisor. .	- 71 -
Figura 49. Diagrama de operación del motor trifásico del sistema emisor.....	- 72 -
Figura 50. Diagrama de general de operación de la planta emisora.	- 73 -
Figura 51. Diagrama de general de operación de la planta receptora	- 74 -
Figura 52. Interfaz gráfica de control manual del sistema receptor.	- 75 -
Figura 53. Programación por bloques del botón “LISTA DE BLUETOOTH”.	- 76 -
Figura 54. Programación por bloques de “ON_LED_1 y OFF_LED_1”.	- 76 -
Figura 55. Programación por bloques de “ON_LED_2 y OFF_LED_2”.	- 76 -
Figura 56. Programación por bloques de “ON_LED_3 y OFF_LED_3”.	- 77 -
Figura 57. Programación por bloques de “ON_LED_4 y OFF_LED_4”.	- 77 -
Figura 58. Programación por bloques del botón “SALIR”.	- 77 -
Figura 59. Flujograma de programación del ESP_32_emisor.	- 78 -
Figura 60. Flujograma de programación del ESP_32_receptor.....	- 79 -
Figura 61. Calibración del módulo de alimentación (LINSU GROUP).	- 80 -
Figura 62. Conexión del equipo de operación.....	- 81 -
Figura 63. Modelo para la construcción de la hélice.	- 82 -
Figura 64. Construcción del disco cortador de alimentos.	- 82 -
Figura 65. Ensamblando del sensor fotodiodo.	- 83 -
Figura 66. Ensamblando del ESP_32_emisor y divisor de tensión.....	- 83 -
Figura 67. Vistas generales del sistema emisor.	- 84 -
Figura 68. Ensamblando del sistema de control receptor.....	- 84 -
Figura 69. Cableado de la estructura lumínica.	- 85 -
Figura 70. Montaje de la estructura lumínica.	- 85 -
Figura 71. Medida de iluminancia de la fuente luminosa de 12W/220W.....	- 86 -
Figura 72. Montaje de la estructura lumínica.	- 86 -
Figura 73. Activación del grupo central de luminarias.	- 88 -
Figura 74. Activación del grupo central y lateral de luminarias.	- 88 -
Figura 75. Activación del grupo central, semicentral y lateral de luminarias.	- 89 -
Figura 76. Activación del grupo central, semicentral, semilateral y lateral de luminarias. .	- 89 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación del número de polos y de la frecuencia.	- 24 -
Tabla 2. Reglamento técnico de iluminación en ambientes alimenticios.	- 35 -
Tabla 3. Softwares utilizados en el diseño del sistema.	- 41 -
Tabla 4. Descripción de los componentes que integran el sistema inteligente.	- 43 -
Tabla 5. Descripción de los componentes eléctricos que integran el sistema inteligente.	- 45 -
Tabla 6. Descripción de las fuentes luminosas que integran el sistema inteligente.	- 46 -
Tabla 7. Descripción de las fuentes luminosas que integran el sistema inteligente.	- 47 -
Tabla 8. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 110V/12W.	- 59 -
Tabla 9. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 220V/12W.	- 61 -
Tabla 10. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 110V/30W.	- 63 -
Tabla 11. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 220V/12W.	- 65 -
Tabla 12. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 110V/100W.	- 67 -
Tabla 13. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 220V/100W.	- 68 -
Tabla 14. Valores obtenidos por la ecuación (2.19) con su equivalencia en frecuencia. ...	- 71 -
Tabla 15. Parametrización del variador de frecuencia CHNT(NVF300M).	- 81 -
Tabla 16. Rangos de velocidad en los que se observa el fenómeno estroboscópico (Frecuencia y rpm).	- 87 -
Tabla 17. Tabla de resultados de mitigación del fenómeno estroboscópico.	- 90 -
Tabla 18. Tabla de resultados fotométricos y eléctrico de las luminarias LED.	- 91 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Algoritmo de programación perteneciente al ESP_32_emisor.....	- 99 -
Anexo 2. Algoritmo de programación perteneciente al ESP_32_receptor.	- 102 -
Anexo 3. Vista general de la interfaz gráfica de la operación manual del sistema.....	- 109 -
Anexo 4. Montaje de la estructura lumínica.	- 110 -
Anexo 5. Revisión del estado de los módulos LED.	- 111 -
Anexo 6. Calibración y comunicación de los sistemas.	- 114 -

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La primera máquina eléctrica rotatoria o motor eléctrico fue inventada en 1821 por el británico Michael Faraday, este invento permite la transformación de la energía eléctrica en mecánica dando la fuerza necesaria para accionar los distintos procesos que se requiera la intervención de este componente eléctrico (Gómez, 2020). En la actualidad debido al crecimiento de la automatización existen diferentes tipos de motores ya sea de corriente continua (C.C) o de corriente alterna (A.C), los cuales presentan distintas respuestas tanto en velocidad como en torque (Cerón, 2013).

De manera similar, la iluminación debido a la evolución en tecnología LED que viene produciéndose desde el año 1997 en Japón (Taguchi, 2008), el mercado internacional esta demandado con mayor intensidad debido a la transformación de las fuentes de iluminación convencional a soluciones más eficientes y duraderas basadas en sistemas de iluminación LED. En las aplicaciones industriales requieren una iluminación eficiente, resistente y segura. Compañías proveedoras de luminarias LED, como Ledvance, destacada en el ámbito de la iluminación industrial, presentan nuevas tecnologías que pueden reducir los costes de la energía hasta un 64% (Vives, 2024).

Además de los avances en la tecnología LED, la iluminación inteligente mediante sistemas de control avanzados representan un enfoque avanzado para reducir el uso de energía y mejora las condiciones lumínicas en las áreas de trabajo, ya que estos sistemas aprovechan la tecnología avanzada (IoT) para brindar a los usuarios un mejor control sobre su iluminación, permitiéndoles modificar de forma manual, remota, automática y la sincronización de las luminarias (Widarth et al., 2024). Esta solución IoT no solo ofrece una eficiencia energética superior al complementarse con la iluminación LED, sino que también permite cubrir la necesidad lumínica de los usuarios.

En algunos procesos industriales que realizan los motores eléctricos debido a la variación de sus velocidades y a las condiciones lumínicas desfavorables del área de trabajo se presentan un fenómeno denominado efecto estroboscópico. Este fenómeno es particularmente crítico en entornos industriales, en donde se presentan procesos de corte de alimentos, la percepción visual del movimiento se ve distorsionada, lo que complica la observación precisa de las partes en movimiento, causando daños en la integridad del trabajador. Las condiciones desfavorables de iluminación afectan hasta al 65.71% de los trabajadores expuestos a estas circunstancias (Sánchez & Márquez, 2018).

Considerando los resultados obtenidos por las investigaciones mencionado anteriormente, y teniendo en cuenta los obstáculos que presenta el fenómeno estroboscópico, es necesario

un sistema que brinde la seguridad al personal de trabajo y a la vez buscar una eficiencia energética para el ahorro de la energía. Es por ende que, se plantea desarrollar un sistema de iluminación inteligente suplementario que se adapte a las condiciones requeridas en los diferentes procesos de corte con el objetivo de aprovechar las tecnologías de las luminarias LED y equipos de programación para mejorar tanto la calidad energética como la visual del entorno laboral.

1.1 El problema

1.1.1 Formulación del problema

La operación de los motores eléctricos se ve significativamente influenciada por la iluminación en el ambiente o zona operación. La presencia de condiciones de iluminación deficientes ha sido identificada como un factor determinante que potencia el fenómeno estroboscópico en estas máquinas rotatorias. Coincidentemente, Sánchez & Márquez (2018), en un estudio realizado a un grupo de trabajadores sobre las condiciones lumínicas en su ambiente laboral de trabajo mencionan que, el 42.86% de los trabajadores manifiestan sentir incomodidad debido a la iluminación en su lugar de trabajo. Además, un 7,62% del personal reporta experimentar fatiga visual como resultado de estas condiciones lumínicas. Por otro lado, un 12.38% de los empleados está de acuerdo en que la iluminación en sus áreas de trabajo genera niveles significativos de estrés laboral. La iluminación inadecuada en los lugares de trabajo genera una serie de efectos perjudiciales para los trabajadores, en donde la tensión ocular, la fatiga visual y los dolores de cabeza son consecuencias directas de esta deficiencia lumínica (OIT, 2021).

Tomando como referencia el caso de la industria alimentaria, específicamente en el corte de productos orgánicos, esta situación puede llevar al trabajador a percibir erróneamente el movimiento del disco o hélice que esta acoplada al rotor de la máquina, creando la ilusión de que la maquina esta estática o mostrando cambios erráticos de dirección. Esta confusión representa un riesgo significativo, ya que, si el trabajador accidentalmente se aproxima a la parte giratoria del motor, podría enfrentarse al peligro real de sufrir lesiones graves, incluso la posibilidad de perder alguna extremidad. No obstante, la falta de estudios específicos que aborden en profundidad esta correlación entre la falta de iluminación y el efecto estroboscópico contribuyen así a un área poco explorada en términos de seguridad laboral.

Es por este motivo que se tiene la necesidad de realizar investigaciones para dar alternativas eficientes que busquen mitigar el efecto estroboscópico y además buscar una eficiencia energética en las luminarias. Por lo tanto, se plantea diseñar un sistema de iluminación inteligente para mitigar el fenómeno estroboscópico en los procesos de automatización alimenticio que involucren a las maquinas eléctricas rotativas. El sistema

contara con un equipo de programación el cual se encarga de administrar el nivel de iluminación en función de la velocidad de giro del motor. Por lo que, el desarrollo de estrategias y recomendaciones dirigidas a optimizar la iluminación en entornos o áreas de trabajo que permitan la mitigación del fenómeno ya mencionado, constituye un objetivo fundamental de esta investigación. Se espera que los hallazgos proporcionen información valiosa para mejorar las condiciones laborables, la productividad y la fiabilidad de las maquinas eléctricas rotatorias, consiguiendo así una eficiencia visual y energética.

1.1.2 Delimitación del problema

El presente trabajo de titulación, está orientado al diseño y la construcción de un sistema de iluminación inteligente para la mitigar el efecto estroboscópico presente en los motores eléctricos, por ejemplo, en la utilización del corte de alimentos orgánicos, para el cual se necesitará equipos de medición de parámetros físicos (iluminancia y luminancia) y parámetros eléctricos (voltaje, corriente y potencia), así mismo se diseñará un sistema que permita la comunicación entre la planta de operación de la máquina con el sistema de iluminación, permitiendo la variación del nivel de iluminación en función del giro del motor, del mismo modo se construirá un disco o hélice utilizado en la industria alimentaria que se colocaran en el eje del motor. Además, se realizara un levantamiento de los niveles de iluminación en las cuales se ubicara la máquina, viendo si cumple o no con los reglamentos establecidos y para el sistema de iluminación se investigara cual es la luminaria más adecuada mediante el análisis fotométrico, para luego diseñar y construir una estructura móvil que sea viable y funcional para la colocación de las fuentes luminosas, convirtiéndose así en una iluminación suplementario para el área de operación de la maquina eléctrica rotatoria, con esto se pretende demostrar la factibilidad de la implementación de sistema de iluminación inteligente cualquier área de operación de la máquina.

Existen muy pocos estudios en los cuales se pretenda aprovechar la iluminación inteligente para mitigar el fenómeno ya expuesto anteriormente en motores eléctricos. Por lo que, resulta de gran importancia diseñar, construir e instalar el sistema de iluminación inteligente para la eliminación del fenómeno estroboscópico obtenido así una eficiencia visual y energética.

1.2 Justificación

Los sectores industriales o lugares donde presentan la necesidad de la utilización de máquinas eléctricas rotatorias para diferentes procesos están protagonizando cambios sin las necesidades de que los empleadores los tomen en consideración, ya que los mismos no perciben tanto el impacto energético como a su vez el daño que causan a sus trabajadores por los fenómenos causados por la falta de iluminación. En la actualidad la tecnología LED ha

reemplazado en gran medida a las tecnologías convencionales, ya que son más eficientes energéticamente y amigables con el medio ambiente (Cachimuel et al., 2020).

El sector eléctrico se está transformando debido a la acogida de nuevas tecnologías en el ámbito de la iluminación que conjuntamente a equipos electrónicos programables ayudan a tener un mejor control del sistema lumínico, la presente investigación aportara de manera significativa al mejoramiento de la visibilidad del área de trabajo en los procesos de corte de alimentos orgánicos. El sistema de iluminación inteligente tiene como finalidad variar la intensidad de iluminancia en función del estado de operación de la maquina eléctrica rotatoria (medido en rpm y Hz) y obtener un entorno energéticamente eficiente y proporcionar una óptima claridad para el operador en el área de trabajo.

La presenta investigación también está dirigida a la interpretación y al análisis de los datos obtenidos por los sistemas de medición en el área de estudio (rpm, luxes, voltaje, corriente y potencia). La razón para realizar esta indagación tiene que ver a que no existen estudios suficientes que ayuden a comprobar la factibilidad de implementar la tecnología propuesta en este trabajo. Dichos datos o resultados ayudaran a mejorar el sistema de iluminación de cualquier área de trabajo, con el fin que a partir de este estudio las industrias procesadoras de alimentos tomen como punto de partida esta investigación y contribuya a un diseño confiable para proyectos a futuro.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un sistema de iluminación inteligente mediante la integración de circuitos programables y luminarias LED, permitiendo mejorar la eficiencia visual y energética mitigando así el efecto estroboscópico en las maquinas rotatorias.

1.3.2 Objetivos específicos

- Revisar la literatura científica mediante bases de datos especializadas para contar con información actualizada y de calidad sobre el efecto estroboscópico, tecnología LED y sistemas de control.
- Realizar un análisis fotométrico de las fuentes luminosas seleccionadas utilizando equipos de alta calidad, como la esfera de Ulbricht y luminancímetro, determinando los parámetros fotométricos y seleccionando la fuente que mejor se adapta a las condiciones del estudio.
- Diseñar e integrar un sistema de iluminación móvil inteligente utilizando controladores y sensores, mitigando el efecto estroboscópico durante el proceso de corte de alimentos.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Motores eléctricos de corriente alterna

Los motores eléctricos son los encargados de convertir la energía eléctrica en energía mecánica y estos se clasifican en tres categorías importantes: motor eléctrico monofásico, motor eléctrico bifásico y motor eléctrico trifásico. Cada uno de estos tiene funciones diferentes, pero con el mismo principio de funcionamiento. Estos actúan tanto como en bombas, bandas transportadoras, ascensores, molinos, ventiladores, compresores, extrusoras, sierras circulares, entre otros (Cruz, 2019).

La acción general de los diferentes motores de corriente alterna (AC) se desarrolla introduciendo una corriente en la maquina por medio de una fuente externa, que interacciona con el campo produciendo un movimiento de la maquina; aparece entonces la fuerza electromotriz (f.e.m) inducida que se opone a la corriente y que por ello se denomina fuerza contraelectromotriz. En consecuencia, el motor necesita una energía eléctrica o fuente de potencia para producir energía mecánica correspondiente (Contreras & Sánchez, 2010).

En la Figura 1 (a) se observa la forma de una fuente de potencia monofásica representando el voltaje suministrado a lo largo del tiempo, mostrando una sola forma de onda. Mientras que en la Figura 1(b) se representa el estilo de una fuente de potencia bifásica, estas dos formas de ondas están desfasadas en un ángulo de 90 grados uno con otro. En tanto que en la Figura 1 (c) se indica el aspecto de una fuente de potencia trifásica, mostrando tres formas de ondas desfasadas en un ángulo de 120 grados entre sí. La magnitud de cada forma de onda varia sinusoidalmente en función del tiempo, reflejando la variación de la corriente o el voltaje a lo largo del ciclo de operación del motor.

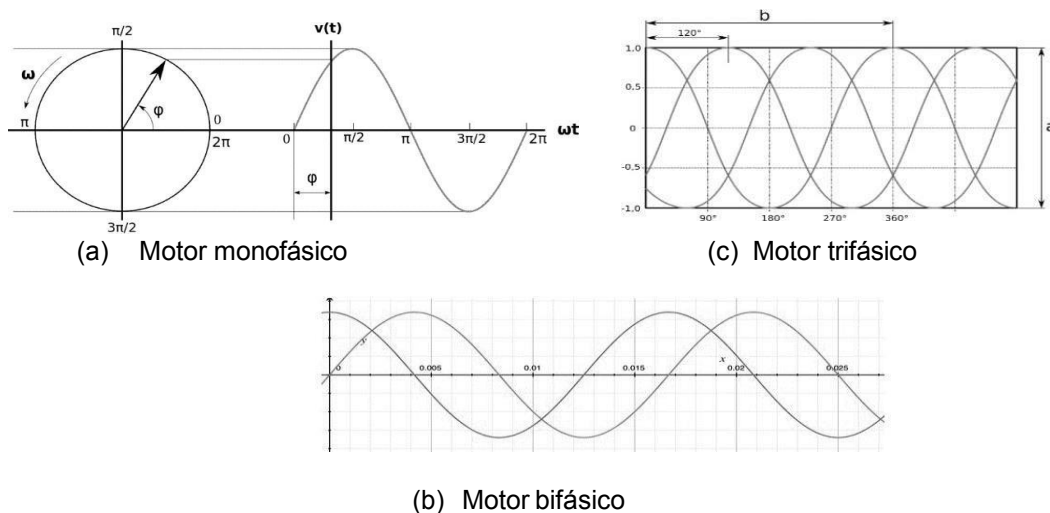


Figura 1. Sinusoide de las fases del motor.

Fuente: (CLR, 2018).

2.1.1 Fundamentos de magnetismo

En la Figura 2, se ilustra los dos comportamientos principales de un imán. Las cuales interactúa directamente con el magnetismo. Además, cuando se introduce una corriente eléctrica que circula por un conductor, las líneas de fuerza magnética se crean alrededor del mismo (Soto, 2021).

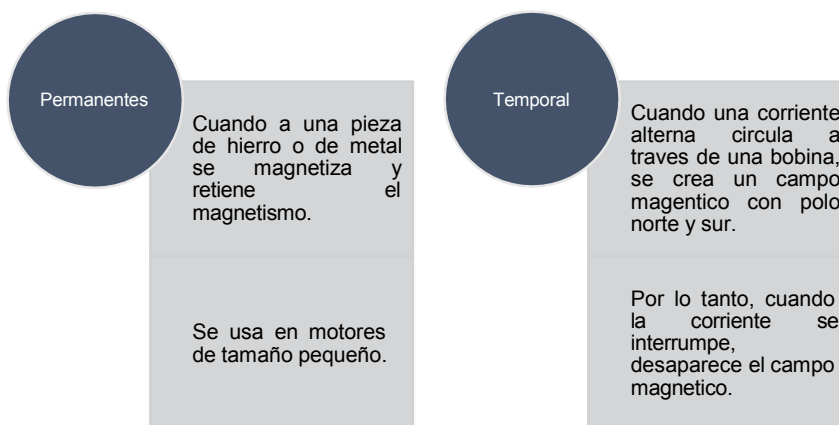


Figura 2. Clasificación magnética del imán.

Fuente: (Soto, 2021).

2.1.2 La inducción electromagnética

Si un alambre conductor se desplaza en un campo magnético de modo que corte las líneas de flujo de dicho campo, se genera una fuerza electromotriz en el conductor. Este fenómeno, conocido como inducción electromagnética, ocurre al inducir la fuerza electromotriz mediante el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético (Hayt y Buck, 2006, p.295). Por lo tanto, los motores eléctricos operan según el principio de que un conductor o bobina ubicado dentro de un campo magnético experimenta una fuerza cuando se hace circular, tal como se ilustra en la Figura 3 (Gómez, 2020).

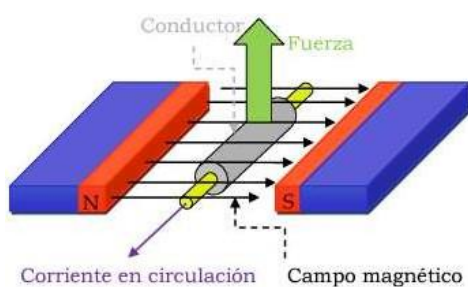


Figura 3. Inducción electromagnética.

Fuente: (Contreras & Sánchez, 2010).

“La magnitud de la fuerza varía directamente con la intensidad del campo magnético y la magnitud de la corriente que circula por el conductor o bobina” (Cheng, 2011, p.79). Como se muestra en la ecuación (2.1).

$$F = I * B * L \quad (2.1)$$

Donde:

F= Fuerza en Newton (N)

I= Corriente en circulación en Amperios (A)

B= Flujo magnético en Tesla (T)

L= Longitud del conductor o bobina en metros (m)

En términos generales, “el rotor de un motor eléctrico se encuentra inmerso en el campo magnético generado por el estator. Esto provoca la inducción de corriente en el rotor, lo que genera una fuerza resultante (y por lo tanto el par) produce la rotación” (Chapman, 2012, p.231).

2.1.3 Ley de inducción electromagnética de Faraday

La ley de inducción electromagnética de Faraday relaciona fundamentalmente el voltaje y el flujo en el circuito. “La fuerza electromotriz inducida en un circuito es igual y de signo opuesto a la rapidez con que varía el flujo magnético que atraviesa un circuito, por unidad de tiempo” (Sadiku, 2018, p.9).

Para Chapman (2012), nos dice que “Cuando el flujo varía en 1 weber por segundo, se induce un voltaje de 1 volt entre sus terminales; en consecuencia, si el flujo varía entre una bobina de N espiras” (p.307). El voltaje inducido se da por la ecuación (2.2).

$$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta T} \quad (2.2)$$

En donde:

E = Voltaje inducido en Volts (V)

N = Numero de espiras de la bobina

$\Delta\phi$ = Cambio de flujo dentro de la bobina en Webers (Wb)

ΔT = Intervalo de tiempo durante el cual el flujo cambia en segundos (s)

2.1.4 Principio de operación

La operación de los motores eléctricos depende de la interacción de campos magnéticos rotativos producido por la parte móvil del motor denominado rotor y la parte estática llamada estator que se encuentra dentro del campo magnético (Chapman, 2012, p.232).

1. El estator

El estator es la parte fija del motor que consiste en bobinas de alambre de cobre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro laminado y cuando se aplica una excitación alterna a estas bobinas, se genera un campo magnético rotativo en el vacío de aire entre los polos del estator, tal como se muestra en la Figura 4 (Gac, 2016, p.2).

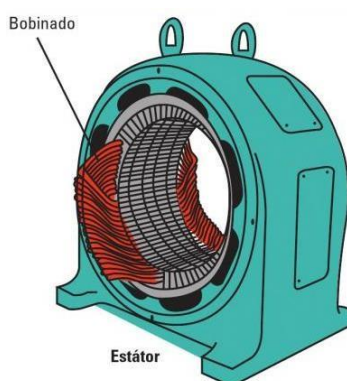


Figura 4. Disposición constructiva del estátor.

Fuente: (Gac, 2016).

2. El rotor

El rotor es un elemento que produce la transferencia de la energía eléctrica en energía mecánica. Está construido por un conjunto de láminas de acero al silicio que también forman un gabinete cilíndrico. Este se encuentra adherido al eje del motor y tiene lugares disponibles para la instalación de rodamientos que se apoyaran sobre los cojinetes, como se observa en la Figura 5. Posee un diámetro menor al diámetro interior del estátor, con una diferencia o luz llamada entrehierro, por donde se transfiere la energía magnética entre estator y rotor (Gac, 2016, p.4).

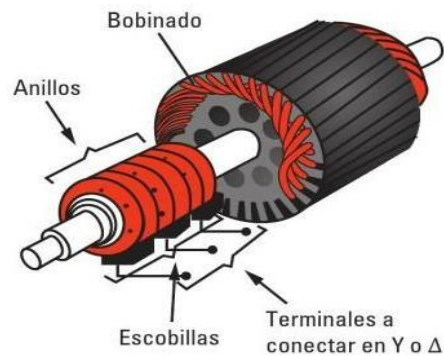


Figura 5. Disposición constructiva del rotor.

Fuente: (Gac, 2016).

2.1.5 Potencia y torque en las maquinas rotatorias

Gómez (2020), menciona que “La potencia mecánica dada por los motores se expresa en caballos de fuerza (Hp) o kilowatts, que cuantifican la cantidad de trabajo que una maquina eléctrica rotatoria es capaz de realizar en un periodo específico de tiempo (Gómez, 2020, p.37). La potencia relaciona el par y la velocidad, como se indica en la ecuación (2.3).

$$P = \text{Velocidad} * \text{Torque} \quad (2.3)$$

El par o torque en un motor eléctrico es la medida de la fuerza que impulsa la rotación. Representa la capacidad del motor para aplicar una fuerza torsional (F) sobre la distancia (D) que conecta al eje con el lugar donde se aplica la fuerza como brazo de palanca y se expresa en Newton-metro (Nm) (Ver Figura 6) (Gómez, 2020, p.38).

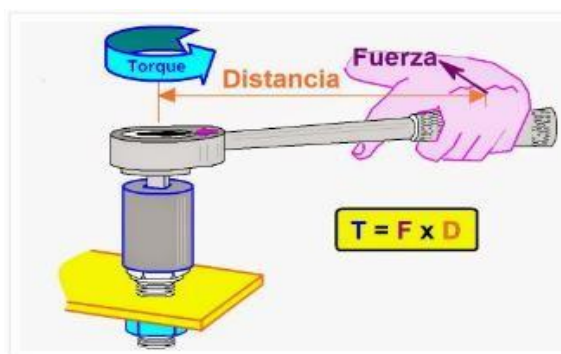


Figura 6. Torque en un motor eléctrico.

Fuente: (Paco, 2014).

2.1.6 Velocidad del motor

Este relaciona a la velocidad de rotación del eje del motor, medida en revoluciones por minutos (rpm). La velocidad está directamente relaciona con la frecuencia de la corriente suministrada. A menor velocidad existe mayor par para entregar la misma potencia, entonces los motores de baja velocidad necesitan componentes más robustos que los de alta velocidad para igualar la potencia nominal (Ver Figura 7) (Chapman, 2012, p.253).

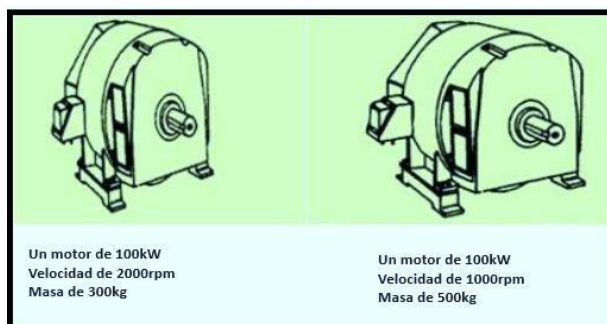


Figura 7. Relación entre velocidad y tamaño de la maquina eléctrica rotatoria.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Categorías de los motores eléctricos de corriente alterna

2.2.1 Motores síncronos

Un motor síncrono es semejante en todos los aspectos a un generador síncrono, pero excepto en que la dirección del flujo de potencia es la opuesta. Debido a que se invierte la dirección del flujo de potencia en la máquina, se puede esperar que la dirección del flujo de corriente en el estator del motor también se invierta, es decir, el principio básico de la operación de los motores síncronos es que el rotor persigue al campo magnético giratorio del estator alrededor de un círculo y nunca lo alcanza. Además, la característica principal de este tipo de motores es que trabajan a velocidad constante, que depende solo de la frecuencia de la red y de otros aspectos constructivos de la máquina (Viego et al., 2015).

2.2.2.1 Relación entre el par y velocidad

La velocidad de rotación del motor está asociada a la tasa de giro de los campos magnéticos, y la tasa de rotación de los campos magnéticos aplicados está relacionada a la frecuencia eléctrica aplicada, por lo que la velocidad del motor síncrono será constante sin que importe la carga, esta velocidad fija esta dada por la ecuación(2.4) (Chapman, 2012, p.208).

$$n_m = \frac{120f}{P} \quad (2.4)$$

Donde:

n_m = Velocidad mecánica de rotación en revoluciones por minuto (rpm)

f = Frecuencia eléctrica en Hertz (Hz)

P = Numero de pares de polos del motor

En la tabla 1, indica los polos y la frecuencia en la velocidad mecánica del motor en revoluciones por minuto, en donde, la frecuencia de la corriente alterna de la alimentación determina la velocidad a la cual rota el campo magnético del estator. El rotor sigue a este campo girando más despacio, la diferencia de velocidades se denomina deslizamiento. El número de polos condiciona la frecuencia de giro del motor, es decir, cuanto mayor es el número de polos, más lento es el movimiento del rotor (Chapman, 2012, p.209).

Tabla 1. Relación del par de polos y de la frecuencia.

Motor	Rotación sincrónica	
	60 Hz	50 Hz
2 polos	3.600 rpm	3.000 rpm
4 polos	1.800 rpm	1.500 rpm
6 polos	1.200 rpm	1.000 rpm
8 polos	900 rpm	750 rpm

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.2 Componentes del motor síncrono

Un motor de corriente alterna síncrono está conformado del tipo de polos salientes y armadura giratoria (Ver Figura 8) (Kosow, 1992).

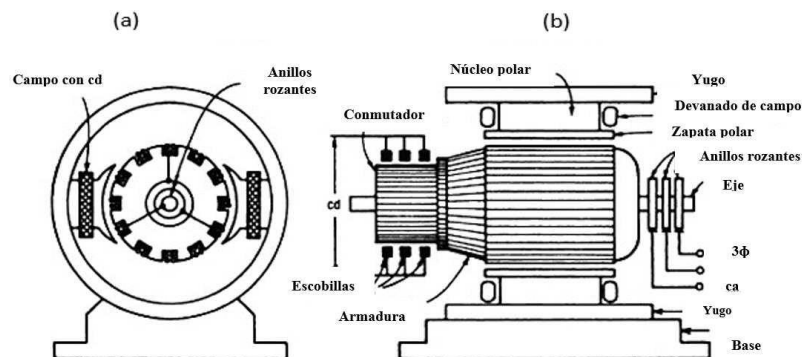


Figura 8. Partes del motor síncrono del tipo de polos salientes y armadura giratoria: (a) Corte transversal de la máquina síncrona (b) Sección axial de una máquina síncrona.

Fuente: (Kosow, 1992).

2.2.2 Motores asíncronos o de inducción

La máquina que solo tiene un conjunto continuo de devanados de amortiguamiento se llama máquina de inducción. Los motores de inducción dependen de la inducción de voltajes y corrientes en el circuito del rotor desde el circuito del estator (acción transformadora). Debido a que la inducción de voltajes y corrientes en el circuito del rotor de un motor de inducción es esencialmente una operación transformadora, a los motores de inducción se les llama máquina de excitación única porque solo se suministra potencia al circuito del estator (Chapman, 2012, p.231-232).

2.2.2.1 Relación entre el par y velocidad

La Figura 9 muestra un motor asíncrono con un rotor de jaula de ardilla. En la cual se aplica un conjunto trifásico de voltajes y fluye de un conjunto trifásico de corrientes. Estas corrientes producen el campo magnético giratorio B_s que gira en sentido antihorario (Chapman, 2012, p.233). La velocidad de rotación del campo magnético está dada por la ecuación (2.5)

$$n_{sinc} = \frac{120f}{P} \quad (2.5)$$

n_{sinc} = Velocidad mecánica de rotación del campo magnético en revoluciones por minuto (rpm)

f = frecuencia eléctrica en Hertz (Hz)

P = numero de pares de polos del motor

Este campo magnético giratorio B_s pasa sobre las barras del rotor e induce un voltaje en ellas. El voltaje inducido en cierta barra de rotor está dado por la ecuación (2.6).

$$e_{ind} = (v \times B) * l \quad (2.6)$$

Donde:

e_{ind} = Voltaje inducido en volts (V)

v = velocidad de la barra en relación con el campo magnético

B = vector de densidad de flujo magnético en Tesla (T)

l = longitud del conductor en el campo magnético en metros (m)

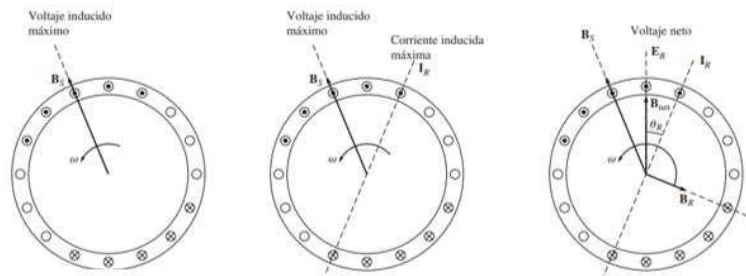


Figura 9. Desarrollo de un par inducido en un motor de inducción.

Fuente:(Chapman, 2012).

2.2.2.2 Componentes del motor asíncrono

Un motor asíncrono o de inducción está conformado por las partes que se pueden observar en la Figura 10.

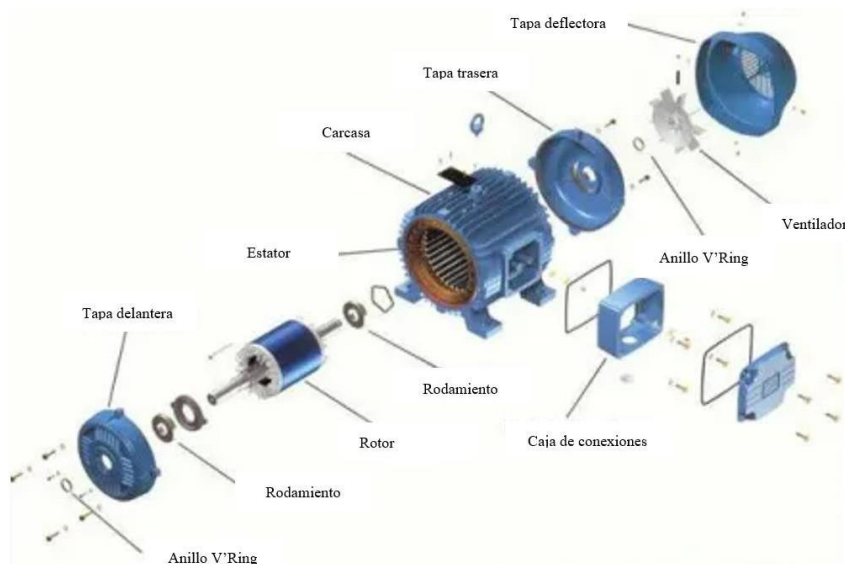


Figura 10. Partes del motor trifásico asíncrono de corriente alterna.

Fuente: (WEG, 2016).

2.3 Sistema de Iluminación

Es uno de los elementos de un entorno o área laboral que busca principalmente mejorar la percepción de los objetos en su ambiente, permitiendo así que el trabajo se realice de manera eficiente, cómoda y segura (Álvarez, 2015). Como señala Sáenz et al.(2024), un sistema de iluminación es un conjunto de dispositivos y configuraciones diseñados para proporcionar iluminación controlada y uniforme. Además, este sistema debe ser capaz de adaptarse a diferentes geometrías de muestras sin afectar el rendimiento operativo de la zona laboral. Para Wang et al.(2023), el sistema debe permitir un control preciso de los parámetros

fotométricos de diversas geometrías de muestras, para optimizar la resolución y uniformidad necesaria para el rendimiento efectivo en procesos avanzados.

2.3.1 Magnitudes y unidades lumínicas

2.3.1.1 Flujo luminoso

Es la magnitud que mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa (Ver Figura 11). Su unidad en el sistema internacional es el lumen (Lm), que es la energía emitida por una fuente luminosa con intensidad de 1 candela (cd) en un ángulo sólido de 1 estereorradián ($1m^2$ a 1 metro de distancia) y su símbolo es Φ (Monroy, 2006).



Figura 11. Flujo luminoso dado por una fuente luminosa.

Fuente: (Álvarez, 2015).

2.3.1.2 Intensidad luminosa

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección dada (Ver Figura 12a), es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera (Ver Figura 12b), cuyo eje coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes (Ecuación 2.7). Su símbolo es I y la unidad en el sistema internacional es la candela (cd) (Álvarez, 2015).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (2.7)$$

En donde:

I = Intensidad luminosa en candelas (cd)

Φ = Flujo luminoso en lúmenes (Lm)

ω = Angulo solido en estereorradianes (sr)

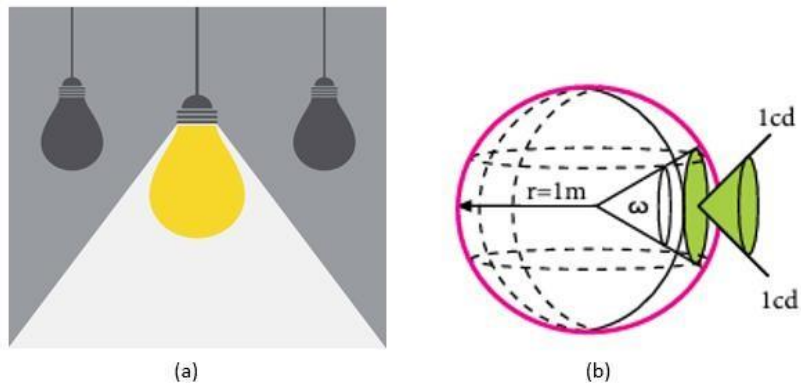


Figura 12. (a) Intensidad luminosa, (b) Angulo sólido.

Fuente: (Álvarez, 2015).

2.3.1.3 Iluminancia

En la ecuación (2.8), “La iluminancia esta directamente proporcional al flujo luminoso incidente e inversamente proporcional a la superficie que contiene el punto por el área de ese elemento. Se representa con el símbolo E y su unidad es el lux” (Monroy, 2006).

Por tanto:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.8)$$

En donde:

E = Nivel de iluminación expresado en luxes (lux)

Φ = Flujo luminoso en lúmenes (Lm)

S = Superficie en metros cuadrados (m^2)

En la Figura 13, se ilustra la cantidad de iluminancia, dada por una fuente luminosa que incide sobre una superficie cuadrada, con su unidad de medida en luxes (Álvarez, 2015).

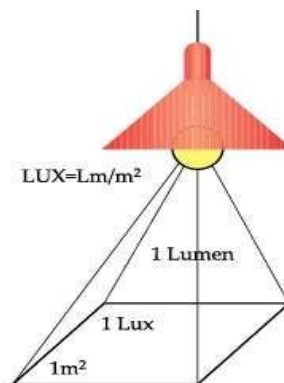


Figura 13. Nivel de iluminación sobre una superficie cuadrada.

Fuente: (Álvarez, 2015).

2.3.1.4 Luminancia

“También se denomina brillo fotométrico. Se define como la intensidad luminosa por unidad de superficie aparente de una fuente de luz primaria (procede la luz) o secundaria (refleja la luz). Se representa con el símbolo L y su unidad es cd/m^2 ” (Monroy, 2006).

En la Figura 14(a);(b), se ilustra la cantidad de luminancia, dada por una fuente luminosa que incide sobre una superficie (Álvarez, 2015).

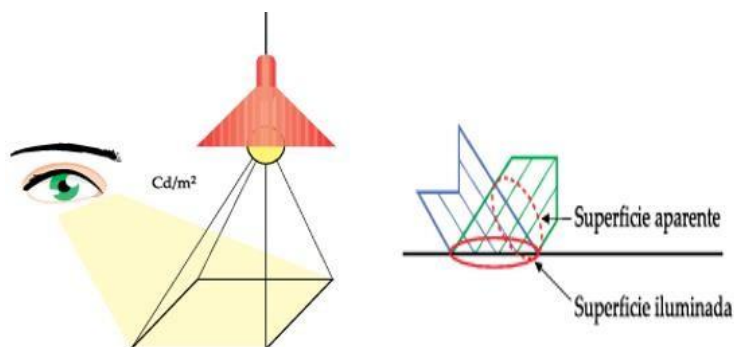


Figura 14. (a)Luminancia; (b) Superficie aparente

Fuente: (Álvarez, 2015).

Álvarez(2015), nos dice que “La luminancia de una superficie viene determinada por el flujo luminoso incidente y por el flujo luminoso reflejado. Ambos flujos están relacionados mediante un factor de reflexión característico del material de superficie. En definitiva, es la magnitud que mide la claridad o el brillo con que vemos los objetos iluminados”.

Por tanto, se presenta las siguientes ecuaciones de cálculo:

$$L = \frac{I}{S} \quad (2.9)$$

$$L = \frac{\rho * E}{\pi} \quad (2.10)$$

En donde:

L = Luminancia en cd/m^2

I = Intensidad luminosa reflejada en candelas (cd)

S = Superficie o área que refleja en m^2

ρ = Grado de reflexión de una superficie en %

E = Iluminación en luxes (lux)

2.3.1.5 Eficiencia luminosa

Para Monroy (2006), la eficiencia luminosa expresa el rendimiento energético de una lámpara o fuente luminosa y mide la calidad de la fuente como instrumento destinado a producir luz por la transformación de energía eléctrica en energía radiante visible, siendo el cociente entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total consumida por la fuente, como se expresa en la ecuación (2.11).

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2.11)$$

En donde:

Φ = Flujo luminoso en lúmenes (Lm)

P = Potencia eléctrica en vatios (W)

η = eficiencia luminosa en Lm/W

La eficiencia luminosa para (Wang et al., 2020), se refieren a la eficiencia con la que los LED (diodos emisores de luz) convierten la energía eléctrica en luz visible, siendo un parámetro crucial para evaluar el rendimiento de los LED y verificar cual es el que más rendimiento energético aporta.

2.3.2 Pautas esenciales para el modelado de la iluminación interior

2.3.2.1 Deslumbramiento

El deslumbramiento denominado UGR (unified glare rating) definido por la CIE (Comisión internacional de iluminación) es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión (Álvarez, 2015).

Como lo señala Bian et al.(2020), el deslumbramiento es la incomodidad visual causada por una cantidad excesiva de luz natural o artificial en forma de destellos, presentando estas dos características: La primera es cuando la luminancia de los objetos del entorno (principalmente luminarias y ventanas) es excesiva en la relación con la luminancia general existente en el entorno (deslumbramiento directo) (Ver Figura 15 (a)). Siendo la otra, cuando las fuentes de luz se reflejan en superficies pulidas (deslumbramiento por reflejos), tal como se muestra en la Figura 15 (b).



(a)

(b)

Figura 15. Deslumbramiento: (a) directo; (b) reflexión.

Fuente: (Tecnolite, 2021).

2.3.2.2 Uniformidad

Una iluminación uniforme implica que no hay grandes contrastes de luminosidad dentro de las áreas iluminadas, lo que indica que no hay zonas demasiado brillantes o demasiadas oscuras en comparación con el resto del espacio (Monroy, 2006). Para Nguyen et al. (2022), la uniformidad lumínica se refiere a la consistencia en la distribución de la luz emitida por un diodo emisor de luz blanca (WLED), siendo una propiedad crucial ya que afecta directamente la calidad percibida del color y la eficacia lumínica del área de ocupación.

2.3.3 Tecnología LED

Esta tecnología se basa en el diodo emisor de luz (LED), en la cual un dispositivo semiconductor emite luz con la longitud de onda monocromática específica muy bien definida cuando se polariza de forma directa. La emisión de luz en estado sólido, como también se denomina genéricamente a la iluminación LED, parte de un pequeño cristal de silicio, de tamaño muy reducido que ronda el milímetro cuadrado. La emisión de luz que produce es el resultado del proceso electrónico que produce la corriente eléctrica al pasar por una unión semiconductor (Vilarrasa & Gago, 2012).

Para (Vilarrasa & Gago, 2012), los puntos fuertes diferenciales de la tecnología LED son:

- Temperatura de trabajo: DE manera que no interfieran en la temperatura ambiente de la sala.
- Encendido inmediato: Sin tiempos de calentamiento.
- Alta capacidad de conmutación: Que permitan ciclos rápidos y continuos de encendidos y apagados.
- Compatibles con sistemas electrónicos de control.
- Evitar emisiones no visibles IR y UV.

- Amplio espectro de temperatura de color.
- Alta eficiencia energética.

2.3.4 Iluminación inteligente

Para López et al.(2018), la iluminación inteligente es un sistema que utiliza tecnologías avanzadas para permitir un control más eficiente y personalizado de las luces en un entorno. Estas tecnologías pueden incluir sensores, conectividad a internet, control remoto a través de aplicaciones móviles, programación, automatización y la integración con otros dispositivos inteligentes.

La iluminación inteligente trae muchos aportes significativos ya es el caso de un estudio realizado por Aussat et al.(2022), en donde diseñaron un sistema inteligente de control de iluminación que reduce el consumo de energía y se adapta automáticamente a los cambios en la luz natural, en donde utilizaron sensores para medir la iluminancia y un algoritmo de control adaptativo en donde mantiene la iluminancia deseada en las superficies de trabajo, recalculando periódicamente el nivel de atenuación de cada lámpara maximizando así la eficiencia energética y la comodidad del usuario.

2.4 Visión humana

El ojo es un órgano mediante el que se experimentan las sensaciones de luz y color. El ojo recibe la energía luminosa y la transforma en energía eléctrica que es conducida a través del nervio óptico hasta el cerebro, donde tiene lugar la interpretación denominada visión (Pérez et al., 2003).

A continuación, se comentan algunos procesos fisiológicos de la visión humana. Estos procesos son esenciales para el diseño luminotécnico de los espacios habitados, ya que permiten comprender cómo la luz afecta la percepción visual y, por ende, cómo debe ser diseñada y aplicada la iluminación en dichos espacios (Monroy, 2006).

2.4.1 Agudeza y campo visual

Como lo señala Monroy (2006), la agudeza visual es la capacidad de percibir detalles de la visión, y su resolución es máxima en el campo focal. Depende de factores externos, como el nivel luminoso de la superficie observada. También se define como la capacidad de distinguir los pequeños detalles, por lo cual se precisan mayores niveles de iluminación cuando se realicen tareas visuales de gran detalle o finura. El ojo presenta un campo visual bastante amplio, pero con distinta agudeza visual. Se distinguen los siguientes campos visuales, como se muestra en la Figura 16:

- *Campo focal*: Tiene un diámetro de tan solo 1 grado y en su eje se alcanza la máxima agudeza visual. Por ejemplo, para leer el ojo se orienta continuamente para apreciar los detalles del entorno.
- *Campo de trabajo*: Cuenta con un diámetro de unos 30 grados. En este campo el ojo percibe una visión del entorno con una agudeza visual buena y aprecia bien la profundidad mediante la visión estereoscópica.
- *Campo estereoscópico*: Su diámetro de unos 60 grados. El ojo percibe aquí una visión del entorno con una agudeza visual media y se mantiene la apreciación de la profundidad mediante la visión estereoscópica.
- *Campo periférico*: Abarca hasta una desviación lateral e inferior de 90 grados. En este campo cada ojo percibe una visión de baja resolución del entorno, pero su alta sensibilidad al movimiento ayuda a la orientación y a la prevención de riesgos.

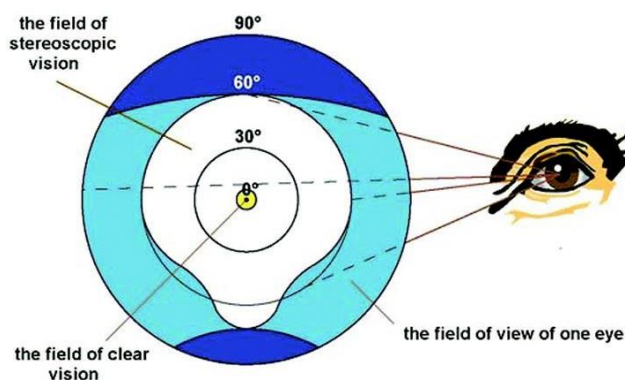


Figura 16. Áreas del campo visual del ojo humano.

Fuente: (Monroy, 2006).

2.4.2 Fatiga visual

González (2007), nos dice que "La fatiga visual consiste en una disminución de la capacidad visual, de carácter reversible, debido a un esfuerzo excesivo del aparato visual". También puede definirse como una alteración funcional, de carácter reversible en su inicio, debido a cargas excesivas sobre los músculos oculares, a fin de obtener una focalización fija de la imagen sobre la retina (Mondelo et al., 2013).

Uno de los factores que más incide en la aparición de la fatiga visual son los deslumbramientos, estos se entienden como la situación visual en la cual se produce malestar o una reducción en la capacidad de percibir detalles u objetos, debido a una distribución inadecuada de luminarias, a valores elevados, a carencia de las misma o un exceso de contraste (González, 2007).

“Un elevado nivel de iluminación es adecuado para reducir la fatiga visual en actividades que requieran una gran concentración, cuando se precise una gran rapidez de percepción, o cuando se tenga que reducir el riesgo por errores o accidentes” (Monroy, 2006).

2.5 Efecto estroboscópico

Como lo menciona Anfalum (2013), los efectos no deseados en la percepción visual de un observador dentro de un ambiente luminoso, se denominan *Fenómenos Temporales de la luz (TLA en sus siglas en inglés)*. Estos impactos son inducidos por un estímulo de la luz cuya luminancia fluctúa con el tiempo, es decir, a estos efectos no deseados recibe el nombre de efecto estroboscópico.

Los factores que determinan la visibilidad de los TLA son los siguientes:

- La frecuencia y la magnitud relativa de la ondulación de luminancia.
- La forma de la onda de la luz (Cuadrada, sinusoidal, ciclo de trabajo).
- El nivel de luz del equipo de iluminación.
- El objeto observado/iluminado y su movimiento.
- La sensibilidad del observador, el ángulo de visión y cualquier cambio en la dirección de visión.
- El nivel de luz de fondo dentro del entorno.

2.5.1 Efecto estroboscópico en motores eléctricos

La normativa RETILAP (2024) afirma que, “Los efectos estroboscópicos pueden producir situaciones peligrosas porque la maquinaria eléctrica rotatoria que tenga parte girando da la impresión de que las partes rotativas, giran a poca velocidad, están paradas o giran en sentido contrario”.

2.6 Reglamento técnico de iluminación

Según la normativa RETILAP (2024), en los requisitos de iluminación de ambientes, áreas de trabajo, tarea visual y actividades en interiores. Presenta los valores de la iluminancia promedio, uniformidad, índices mínimos de reproducción cromática, límite máximo de UGRL, iluminancia cilíndrica, iluminancia en paredes, iluminancia en techo y requisitos específicos para el proceso industrial de alimentos (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Reglamento técnico de iluminación en ambientes alimenticios.

Ref.	12. Actividades industriales y artesanías: Productos alimenticios e industria alimentaria de lujo	Ēm (Lx)	Uo	Ra	UGR _L	Ēm,z (Lx)	Ēm, pared (Lx)	Ēm, techo (Lx)	Requisitos específicos
	Uo ≥ 0,10								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12,1	Puestos de trabajo y zonas en: - cervecerías, malteado, - para lavar, rellenar barriles, limpiar, tamizar, pelar. - cocinar en fábricas de conservas y chocolate, - estaciones y zonas de trabajo en fábricas de azúcar, - para secado y fermentación de tabaco crudo, bodega de fermentación	200	0,40	80	25	50	50	30	
12,2	Clasificación y lavado de productos, molienda, mezcla, envasado	300	0,60	80	25	100	100	50	
12,3	Puestos de trabajo y zonas críticas en mataderos, carnicerías, centrales lecheras, en pisos de filtración en refinerías de azúcar	500	0,60	80	25	150	150	75	
12,4	Corte y clasificación de frutas y hortalizas	300	0,60	80	25	100	100	50	
12,5	Fabricación de alimentos delicatessen, trabajos de cocina, fabricación de puros y cigarrillos	500	0,60	80	22	150	150	75	
12,6	Inspección de vasos y botellas, control de productos, recorte, clasificación, decoración	500	0,60	80	22	150	150	100	
12,7	Laboratorios	500	0,60	80	19	150	150	100	
12,8	Inspección de color	1 000	0,70	90	19	150	150	100	4 000 K ≤ TCC ≤ 6 500 K

Fuente:(RETILAP, 2024).

CAPITULO III

3. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 Investigación aplicada

En este trabajo, se emplea dos tipos de investigación fundamentales para abordar de manera exhaustiva el tema propuesto:

- *Tipo documental:* Esta modalidad de investigación implica la búsqueda y análisis de información en diversas fuentes documentales. En este caso, se realizan consultas en páginas científicas reconocidas como: Web of Science, Scopus y IEEE Xplore, así como páginas web especializadas, catálogos y libros relevantes al tema de estudio. Este enfoque permite acceder a conocimientos previamente establecidos, teorías existentes y datos empíricos recopilados por otros investigadores, esto proporciona una base sólida para el desarrollo de este trabajo de titulación.
- *Tipo de campo:* Este modelo implica la investigación directa en el entorno relevante al tema de estudio. En este contexto, se lleva a cabo una investigación exhaustiva sobre la tecnología existente en nuestro medio, con el objetivo de distinguir y comprender las diferentes características de todos los elementos que son empleados en el diseño y construcción de un sistema de iluminación inteligente que permita mitigar el efecto estroboscópico en las máquinas. La investigación de campo proporciona resultados que garantiza un enfoque fundamental en evidencia y conocimiento actualizado.

3.2 Desarrollo de la propuesta

El sistema propuesto se compone de una planta emisora y receptora. La planta emisora estará compuesta por un variador de frecuencia y un motor trifásico, ambos equipados con un sistema de monitoreo para la recolección de datos como la frecuencia de giro del motor y la cantidad de iluminancia que recibe el área de operación de la máquina eléctrica. Estos datos serán registrados y procesados por un microcontrolador ESP-32, que posterior al proceso de los datos este enviara al sistema receptor. Por otra parte, la planta receptora estará formado por una serie de lámparas LED, las cuales serán activadas mediante un módulo de relés controlado por otro microcontrolador del mismo tipo. Este último, basándose en los parámetros recibidos del sistema emisor, activara y desactivara las luminarias. Además, esta segunda planta contará con una interfaz manual de accionamiento de las luminarias en caso de que exista fallas en la planta emisora.

La construcción del sistema de iluminación inteligente con tecnología LED para mitigar el efecto estroboscópico en motores eléctricos se ha dividido en 8 etapas, como se muestra en la Figura 17.

- En la primera etapa, se centra en establecer las directrices y objetivos que guiaran el proyecto. En esta fase se define claramente el problema de investigación, se justifican su relevancia y los aportes esperados, y se plantea la propuesta de solución al problema.
- En la segunda etapa, se estudia el fenómeno estroboscópico en motores eléctricos rotatorios y se analiza como la mala iluminación afecta al campo visual y a la seguridad de los trabajadores:
 - A partir de bases de datos científicas como: Scopus, Web of Science, google académico, IEEE, entre otros, se planteó un modelo en función de la información adquirida del estado del arte.
 - Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica sobre el fenómeno estroboscópico. Además, se examina por qué ocurre este fenómeno en las maquinas eléctricas rotatorias.
 - Se investiga las normativas y estándares de iluminación en entornos industriales para entender los requisitos mínimos y las recomendaciones para evitar efectos estroboscópicos.
- En la tercera etapa, se detallan los componentes de hardware y software necesarios para diseñar e implementar el sistema de iluminación inteligente con tecnología LED:
 - En el hardware del sistema, se utiliza un sensor de luz que mide la intensidad lumínica de la zona de operación de la maquinaria para ajustar automáticamente la iluminación LED. Además, se utiliza microcontroladores (ESP-32), que actúan como la unidad central de procesamiento que integra y procesa la información de los sensores y controla los actuadores.
 - También se realiza la selección de fuentes luminosas disponibles en el mercado que ayuden a satisfacer las necesidades específicas del proyecto.
 - Para el sistema de actuadores se utiliza un motor trifásico conectado a la parte del rotor una hélice (simulando el corte de alimentos). Además, se incorpora con un variador de frecuencia para simular las diferentes velocidades y captar el fenómeno estroboscópico bajo diversas condiciones operativas.

- El software del sistema, se utiliza los programas que ayudan a simular los diferentes circuitos planteados, incluyendo entorno de desarrollo integrado (IDE) que nos permite desarrollar el algoritmo de control inteligente. Además, se realiza el levantamiento 3D de las condiciones lumínicas del local en donde se realiza el estudio.
 - Se identifica los protocolos de comunicación que maneja el sistema de iluminación inteligente.
 - Se selecciona los equipos o instrumentos de medición y también las fuentes luminosas.
- En la cuarta etapa, se realiza el análisis fotométrico de las luminarias con tecnología LED seleccionadas para evaluar y comprender el rendimiento de estas fuentes luminosas en términos de su distribución luminosa, eficiencia y capacidad para minimizar el efecto estroboscópico. Este análisis incluye varias mediciones y evaluaciones:
 - Con la esfera de Ulbricht, se analiza las fuentes luminosas seleccionadas de las cuales se obtiene diferentes parámetros fotométricos como el flujo luminoso, la potencia radiante, flujo radiante, la eficiencia, entre otros.
 - Medición de la intensidad luminosa (luxómetro), en la cual se determina la cantidad de luz emitida por las luminarias LED en diferentes puntos de las superficies de trabajo. Además, realiza la medición de la luminancia (luminancímetro).
- En la quinta, al contar con el hardware y software es necesario llevar a cabo el diseño de la estructura de la planta receptora previo a la construcción física.
 - Se lleva el diseño en el software “Fusion 360 “de la estructura en donde irán colocadas las luminarias y el equipo de control.
 - Se realizan los respectivos cableados que alimentara y controlara a las lámparas y se procede con el montaje de la estructura.
- En la sexta etapa, se procede a realizar la calibración del sensor seleccionado y a la creación del algoritmo de programación que serán cargados en los equipos de control:

- El microcontrolador de la planta emisora, recibirá los datos del fotodiodo y del variador de frecuencia. Por lo tanto, el algoritmo de programación procesará estas dos variables y el posterior envió a la planta receptora.
- El ESP-32 de la planta receptora, recibirá las variables del módulo emisor y activaría los distintos relés en base a la necesidad detectada encendiendo así las luminarias. Es decir, el algoritmo tendrá la capacidad de recibir la información y actuar en forme a la necesidad que presente la planta emisora. Además, el código deberá activar el sistema de emergencia en caso de que falle la comunicación con la planta emisora dando paso al sistema de operación de emergencia.
- En la séptima etapa, se procede con el ensamblado de los equipos destinados para el sistema inteligente tanto a la planta emisora como a la receptora:
 - Una vez diseñada la estructura se procede a construirla y se implementa el hardware mediante la metodología de electrónica DIY.
 - Se diseña el sistema de operación de emergencia: Mediante la “App Inventor” se realiza la interfaz de usuario intuitiva para el sistema de interruptores digitales, permitiendo su manejo a través de dispositivos inteligentes (celulares o tabletas).
 - Una vez completada el montaje y haber realizado las respectivas conexiones, se realizan pruebas eléctricas, electrónicas y de comunicaciones del sistema inteligente.
- En la última etapa, una vez que el sistema de iluminación inteligente se hallaba en óptimas condiciones de operación, se procedió a realizar la recolección de datos de los diferentes parámetros presentes en el área de estudio:
 - El sistema de iluminación inteligente con tecnología LED para mitigar el efecto estroboscópico en las maquinas eléctricas rotatorias se implementó en el laboratorio de luminotecnia del centro de investigación, innovación y transferencia tecnológica (CIITT).
 - Se obtuvieron parámetros fotométricos del área de operación de la máquina, los cuales se detallan posteriormente.
 - Se procedió a la documentación detallada y posterior publicación de los resultados obtenidos.

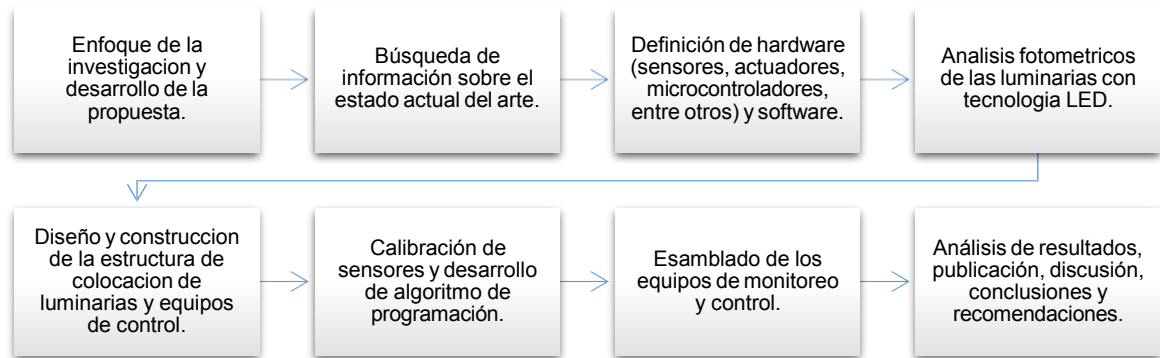


Figura 17. Fases de la metodología a realizarse en la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

4. DISEÑO DEL SISTEMA ILUMINACIÓN INTELIGENTE CON TECNOLOGIA LED PARA MITIGAR EL EFECTO ESTROBOSCÓPICO EN MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS

El aparatado en cuestión aborda con gran detalle el diseño de un avanzado sistema de iluminación inteligente, específicamente orientado a contrarrestar el efecto estroboscópico en motores eléctricos rotativos. El diseño integral abarca tanto el hardware como el software necesario para una implementación exitosa. En el ámbito del hardware, se incluyen diseños estructurales y electrónicos meticulosos elaborados, que permiten no solo sostener físicamente el sistema de iluminación sino también asegurar su correcta funcionalmente para comprender el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas, lo que a su vez facilita un control fotométrico preciso y adaptativo.

Además, se ha llevado a cabo el diseño tridimensional de la estructura de iluminación suplementaria. Esta estructura, destinada a ser instalada en la zona de operación del motor. Sus fuentes luminosas, han sido sometidas a evaluaciones fotométricas rigurosas para garantizar su eficacia. Paralelamente, se diseñó una hélice para el eje del motor, con el propósito de observar y analizar los efectos que se presenta con los diferentes niveles lumínicos al variar la velocidad de rotación.

Una vez finalizado el diseño, se procedió con la construcción física de la estructura y la hélice. Este paso es crucial, ya que materializa los conceptos y permite una evaluación tangible de los componentes. Seguidamente, se realizó el montaje y la comunicación de todos los equipos, las cuales habían sido previamente calibrados por el IDE de programación y tratados para asegurar su contribución eficiente al control del sistema.



La fase final del proceso consiste en una serie de pruebas de funcionamiento exhaustivas, acompañadas de una redacción de datos. Estas pruebas son esenciales para validar la funcionalidad del sistema. A continuación, se detallan estos procesos comentados.


4.1 Definición de software y hardware

4.1.1 Software

Los softwares utilizados desempeñan un papel fundamental en el desarrollo y simulación de cada parte del sistema propuesto en este proyecto. En la tabla 3 se detallan los softwares seleccionados y su función dentro del proyecto, brindando herramientas necesarias para el diseño, análisis y evaluación de los diferentes componentes del sistema.

Tabla 3. Softwares utilizados en el diseño del sistema.

Software	Descripción
 <p data-bbox="443 1279 603 1308">Arduino IDE</p>	<p data-bbox="794 965 1426 1249">El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, desempeña el rol en la creación de los diferentes códigos de programación para el microcontrolador ESP-32, permitiendo escribir, depurar y cargar el código en el módulo microcontrolable.</p>
 <p data-bbox="395 1686 655 1715">Proteus Profesional</p>	<p data-bbox="794 1426 1426 1659">Permite la creación y simulación de circuitos electrónicos. Presenta amplias bibliotecas de componentes, además ofrece herramientas de depuración integradas para identificar y corregir errores en los diseños.</p>

 <p data-bbox="411 562 639 591">MIT App Inventor</p>	<p data-bbox="794 309 1425 490">Es una plataforma para crear aplicaciones de software para Android. Permite programar utilizando la metodología de bloques facilitando la creación de apps de manera intuitiva y gráfica.</p>
 <p data-bbox="477 920 576 949">Fritzing</p>	<p data-bbox="794 710 1425 992">Posibilita el diseño de circuitos electrónicos utilizando componentes en 3D, lo que facilita la transición desde prototipos creados con placas de prueba. Esta característica proporciona una representación tridimensional de las conexiones.</p>
	<p data-bbox="794 1113 1425 1294">Utilizado para el desarrollo de diseños tridimensionales, diseño de circuitos impresos unificados, simulación ED fluida y también permite la gestión de datos al instante.</p>
	<p data-bbox="794 1426 1425 1608">Diseñado para la creación de proyecto de iluminación. Permite fomentar los resultados fotométricos obtenidos por medio de visualizaciones realistas.</p>
 <p data-bbox="453 1944 598 1973">AUTOCAD</p>	<p data-bbox="794 1729 1425 1861">Se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla, etc.</p>

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Hardware electrónico

Los equipos o dispositivos electrónicos que se presentan en este apartado (Tabla 4), serán los encargados de hacer que el sistema funcione de manera adecuada, abordando las necesidades como en la recolección de datos y el procesamiento de datos. Estas lecturas permitirán una repuesta optima en el control, maniobra y operación del sistema inteligente.

Tabla 4. Descripción de los componentes que integran el sistema inteligente.

Componente	Descripción
	<p>Microcontrolador- ESP32</p> <p>Conectividad (Wifi y Bluetooth, con frecuencia 2,4 GHz), potencia computacional (CPU + memorias). Posee memoria ROM 448kb, SRAM 520kb, SRAM en RTC 16kb. Posee doble núcleo de 32 bits y con lectura ADC de 0 a 4095.</p>
	<p>Fotodiodo luz visible fototransistor 5mm receptor 3DU5C</p> <p>Este dispositivo presenta un fototransistor de silicio NPN, longitud de onda máxima 880nm. Trabaja de dos maneras; como transistor normal con la corriente de base y como fototransistor, cuando la luz que incide en este elemento hace las veces de corriente de base (modo de iluminación).</p>
	<p>Módulo de relés</p> <p>Permite controlar varios circuitos eléctricos utilizando señales de baja potencia, lo que permiten abrir o cerrar circuitos. Cuenta con terminales de entrada que reciben señales de 3.3V o 5V y con su respectiva alimentación. Además, cuenta con terminales de salida NC, COM y NO.</p>

	<p>Conjunto de resistencias</p> <p>Componente electrónico que limita o regula el flujo de la corriente en un circuito. Esta nos permitirá realizar la calibración del fotodiodo y para realizar un divisor tensión a la salida de la señal del variador de frecuencia.</p>
	<p>Componentes adicionales</p> <p>Protoboard para ensamblar los circuitos con el módulo ESP-32, terminales de clemas que unen cables de forma segura y desmontable. Cable electrónico para la conexión de los componentes y placas perforadas que permitirán el montaje electrónicamente mediante la soldadura.</p>
	<p>Regulador de voltaje</p> <p>Estabiliza la salida a 5VCC, proporcionando un voltaje constante y limpio adecuado para alimentar los módulos microcontrolable y demás dispositivos.</p>


Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Hardware eléctrico

Este tipo de hardware se refiere a todos los componentes y dispositivos que están involucrados en el procesamiento de la energía eléctrica. Incluye tanto los sistemas responsables del transporte seguro y efectivo de la electricidad como de aquellos equipos que dependen de esa fuente de poder para su operación. La tabla 5 proporciona una visión detallada de estos elementos.

Tabla 5. Descripción de los componentes eléctricos que integran el sistema inteligente.

Componente	Descripción
	<p>Módulo de alimentación Lisun Group</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrada de corriente alterna, con voltajes 90-264VAC, lo que permite su variación de voltaje. • Salida de corriente continua. • Alta precisión y estabilidad. • Protección integrada contra sobrecargas, cortocircuitos, sobrevoltaje y sobrecalentamiento. • Indicadores y pantalla permite mostrar los diferentes parámetros como el voltaje de salida, la corriente y el estado operativo.
	<p>Variador de frecuencia CHNT(NVF300M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia: 0.4Kw • Entrada: 1P AC 220V • Frecuencia: 50Hz/60Hz • Salida: 3P(0V-220V)/ 2.5A /(0-300)Hz
	<p>Motor trifásico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pares de polos: 4 • Frecuencia: 60Hz • Velocidad: 0-1800rpm • Potencia nominal 0.12kW

	<p>Componentes adicionales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Llave bifásica tipo riel con una capacidad de 16A/400V. • Cable 12AWG • Regletas conectoras • Tomacorriente sobrepuesto.
---	--

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Hardware lumínico

Este apartado se dedica a detallar exhaustivamente las fuentes luminosas que han sido seleccionadas para su uso en el sistema, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Descripción de las fuentes luminosas que integran el sistema inteligente.

Componente	Descripción
	<p>El panel lumínico de potencia de 12W, voltaje de 100-240AC, eficiencia energética de 100Lm/W y con una apariencia de color de 6200/3200K.</p> <p>El driver cuenta con una entrada de 85-265VAC-frecuencia de 50Hz/60Hz y con una salida de 36-48VDC/ 280-300Ma.</p>
	<p>Proyector LED de 30W, voltaje de 100-270VAC, con un flujo luminoso de 3000Lm y con una apariencia de color 6000/3000K.</p>


	<p>Lámpara LED de 100W, voltaje de 100-260VAC, con un flujo luminoso de 15000Lm y con una apariencia de color de 5000/3000K.</p>
---	--

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Instrumentación

Se detallan los equipos utilizados para medir los parámetros fotométricos que tiene cada luminaria como también la distribución lumínica que incide sobre la zona de trabajo. La cual se describen a continuación en la tabla 7.

Tabla 7. Descripción de las fuentes luminosas que integran el sistema inteligente.

Componente	Descripción
	<p>Módulo de alimentación Lisun Group</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrada de corriente alterna, con voltajes 90-264VAC, lo que permite su variación de voltaje. • Salida de corriente continua. • Alta precisión y estabilidad. • Protección integrada contra sobrecargas, cortocircuitos, sobrevoltaje y sobrecalentamiento.

	<p>Esfera de Ulbricht Lisun Group</p> <p>La esfera integradora se aplica ampliamente en pruebas de flujo luminoso, coordenadas de cromaticidad, CCT, eficiencia lumínica, longitud de onda dominante y longitud de onda máxima, etc..., para fuentes de luz o luminarias.</p>
	<p>Luminancimetro MAVO-SPOT 2USB</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luminancia de $0.01\text{cd}/\text{m}^2$ a $99,9000\text{cd}/\text{m}^2$. • Capacidad para detectar cambios mínimos en la luminancia. • Lente de alta precisión para una medición focal precisa. • Incluye software para el análisis de datos.
	<p>Luxómetro EXTECH HD450</p> <ul style="list-style-type: none"> • Iluminancia de 0 lx a 40,000 lux. • Resolución de 0.1 lux para el rango más bajo. • Medición de luz visible, calibrado para la respuesta espectral de la luz visible según el CIE (Comisión Internacional de Iluminación).

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Protocolos y medios de enlace

La comunicación entre los dispositivos requiere el uso de protocolos para la transmisión de datos entre los sensores y el equipo encargado del procesamiento de la información. Esta medida es fundamental para garantizar un control y maniobra del sistema en general. A continuación, se detallan los protocolos y medios de comunicación empleados en este proyecto.

4.2.1 Pila de protocolos bluetooth

Esta se organiza en capas al igual que el modelo OSI (Open systems interconnection), en la Figura 18 se pueden comprobar los diferentes protocolos de los que hace uso la especificación para gestionar y controlar los diferentes enlaces y conexiones. La tecnología inalámbrica bluetooth utiliza la banda de radio ISM (Industrial, Science and medical applications) de 2.4 GHz.

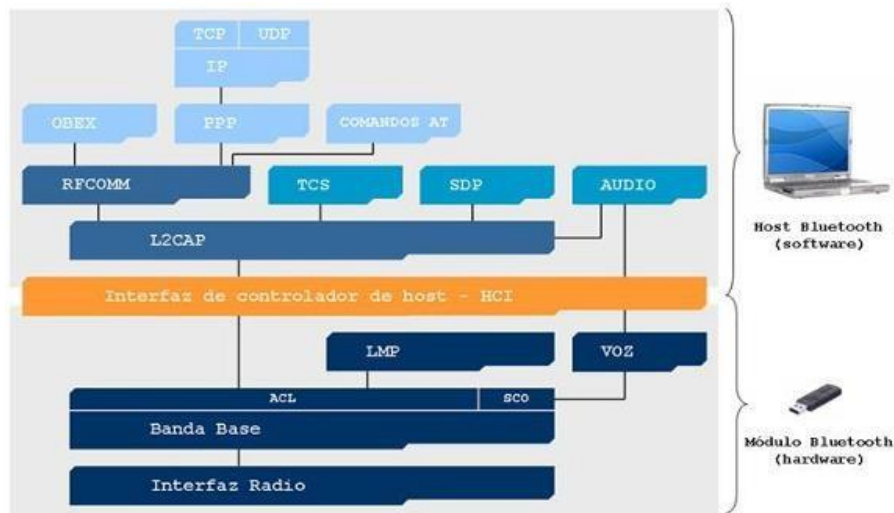


Figura 18. Pila de protocolos Bluetooth.

Fuente: (Yunquera, 2007).

- *El modulo bluetooth (periférico hardware)*: encargado de las tareas relacionadas con el envío de información a través de la interfaz de radiofrecuencia. Se encarga de realizar las tareas asignadas tanto en la capa física y parte de la capa de enlace en el modelo OSI. La cual supone la codificación de los bits, la modulación utilizada o la potencia con la que se transmite.
- *El host bluetooth (implementación software)*: Relacionados con las capas superiores como la capa de red y de aplicación del modelo OSI.

La unión de estas dos zonas (modulo-host) se denomina Interfaz de Controlador de Host (HIC). Las cuales se encargan de suministrar una interfaz uniforme de acceso a las capacidades del controlador bluetooth. En la Figura 19 se presenta una comparación del modelo OSI y Bluetooth.

OSI	BLUETOOTH
Nivel de aplicación	Aplicaciones
Nivel de presentación	RFCOMM/SDP
Nivel de sesión	L2CAP
Nivel de transporte	HIC
Nivel de Red	Gestor de enlace
Nivel de enlace	Controlador de enlace
Nivel físico	Banda base
	Radio

Figura 19. Comparación del modelo OSI y pilas Bluetooth.

Fuente: (Yunquera, 2007).

4.2.2 Medio de enlace USB

Este tipo de cable permitirá la transferencia de datos entre un dispositivo con un puerto USB (Computadora) a otro dispositivo compatible con terminal micro-USB o USB-C para la inserción de datos (ESP-32). Esto permite cargar el dato o código programable creado en la interfaz de programación como se muestra en la Figura 20.

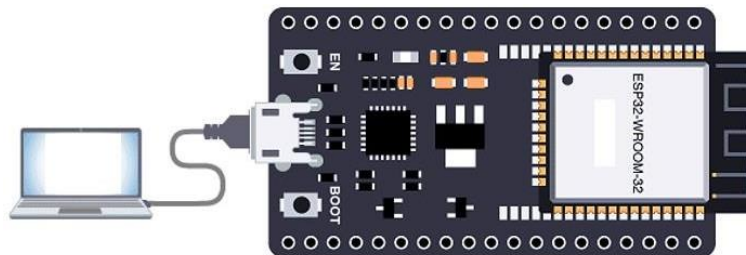


Figura 20. Comunicación de datos mediante cable Micro USB.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Protocolo de comunicación ESP-NOW

ESP-NOW es un protocolo de comunicación inalámbrico de baja latencia y con una alta velocidad de transmisión. Es especialmente adecuado para conectar dispositivos IoT (Internet de las cosas) debido a su capacidad para facilitar la comunicación directa entre dispositivos sin la necesidad de un punto de acceso o enrutador, lo que simplifica enormemente la arquitectura de red y reduce el consumo de energía.

Su funcionamiento se basa en emparejar los dispositivos utilizando la dirección MAC, lo que proporciona una capa adicional de seguridad y control sobre la red. Una vez emparejados, los dispositivos pueden enviar y recibir datos. A continuación, se describe los tipos de comunicación que realizan:

- *Comunicación unidireccional:* En esta configuración, un dispositivo actúa como emisor y otro como receptor. Esta configuración es útil para la transmisión de datos de sensores, donde los datos fluyen en una sola dirección.
- *Comunicación bidireccional:* Aquí, ambos dispositivos pueden enviar y recibir datos, lo que es útil para aplicaciones que requieren interacción continua, como el control remoto de dispositivos.

En la Figura 21, se muestra la configuración unidireccional utilizada para la transmisión de datos de una placa a otra, se pueden enviar comandos de encendido o apagado para controlar los pines GPIO de los dispositivos conectados, permitiendo una respuesta inmediata a las condiciones detectadas por los sensores.



Figura 21. Conexión entre dispositivos (ESP-32) mediante el protocolo ESP-NOW.

Fuente: (Santos & Santos, 2020).

4.3 Modelado 3D de las condiciones lumínicas del área de aplicación

4.3.1 Determinación de las dimensiones del área del local

En el software AutoCAD, se realiza la creación detallada de un plano que incluye las mediciones precisas entre cada punto relevante dentro del área del local. Esto involucra registrar las distancias exactas entre los puntos de interés. Además, el cuadro de color azul que se representa en la Figura 22 indica la luminaria del local, donde también se ha representado sus distancias. Este proceso proporciona un entorno visualmente adecuado y funcional para establecer una adecuada interpretación del área de operación de este estudio lumínico.

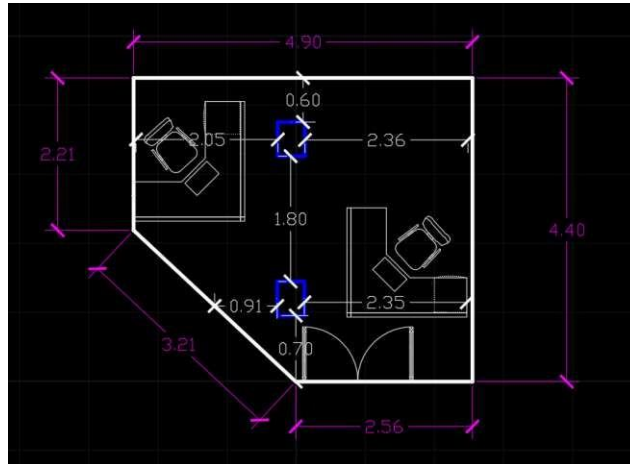


Figura 22. Representación espacial y distribución de luminarias en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Levantamiento fotométrico del área de estudio

Se realiza un levantamiento fotométrico detallado del área de estudio, este proceso incluye la recopilación precisa de datos sobre la distribución de la iluminación, este levantamiento se realizó a una altura de 80 centímetros del suelo con el equipo denominado luxómetro, tal como se ilustra en la Figura 23.



Figura 23. Levantamiento de la iluminancia del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez completado el levantamiento técnico detallado, se procede a realizar la simulación del área en el software DIALux, como se muestra en la Figura 24. Se utiliza las dimensiones exactas obtenidas durante el levantamiento, así como las especificaciones de las lámparas utilizadas, siendo en este caso 2 lámparas de 40W. Este proceso asegura que los valores fotométricos se ajusten de manera precisa a los datos recopilados.



(a) Vista superior

(b) Vista lateral

Figura 24. Perspectiva del modelo del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Posterior de completar el dibujo detallado del área, se procede a generar la documentación correspondiente dada por el software:

- En la Figura 25, se observa la gráfica de colores de destello, en la cual se identifica como se distribuye la luz a lo largo del espacio estudiado. Los diferentes colores indican las variaciones de la iluminación, desde áreas más iluminadas hasta áreas poco iluminadas. En general, los colores más cálidos (como el rojo y el naranja) representa áreas con mayor iluminancia, mientras que los colores más fríos (como el azul y el verde) indican áreas con menor iluminancia.

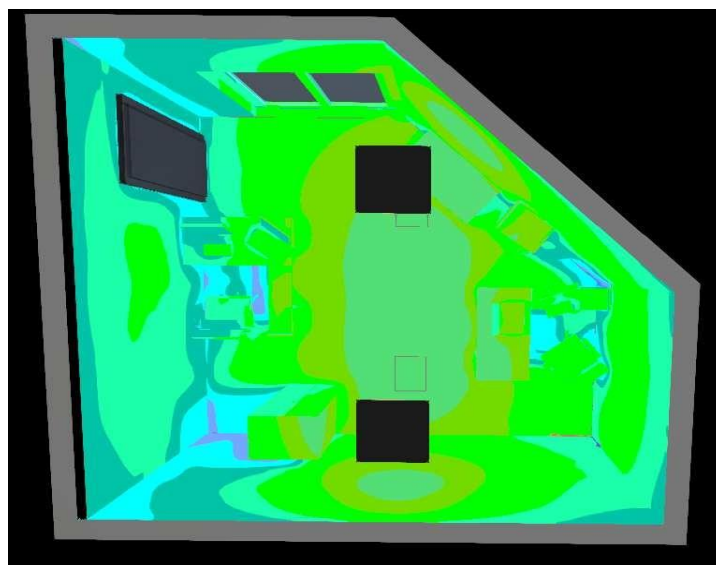


Figura 25. Grafica de colores de la distribución de la iluminancia.

Fuente: Elaboración propia.

- En la siguiente grafica (Ver Figura 26), se muestra las curvas de distribución de la iluminancia en luxes.

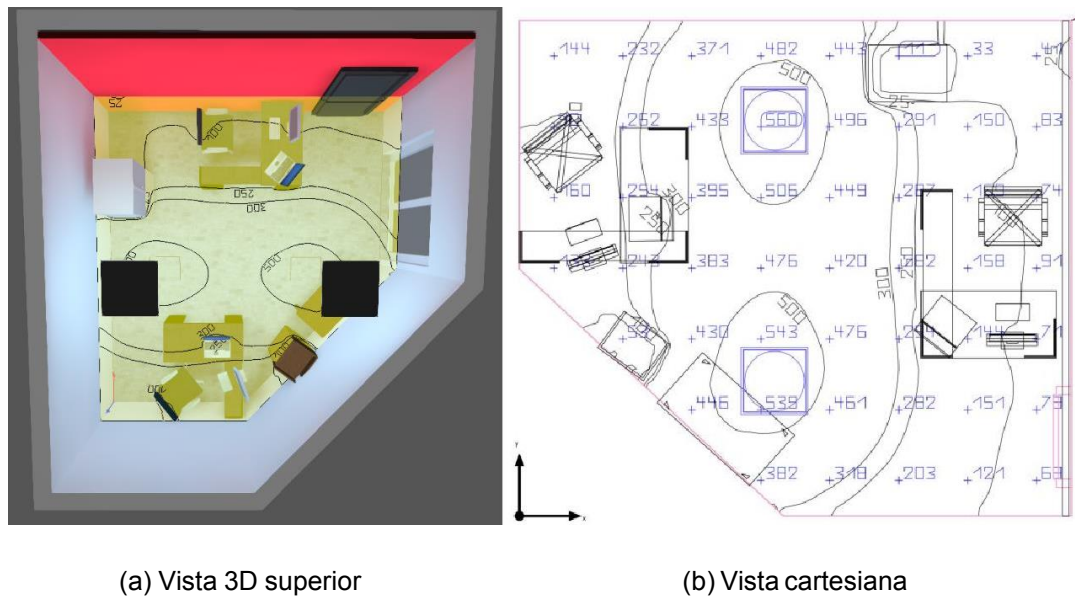


Figura 26. Curva de distribución de la iluminancia.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Diseño de la estructura lumínica

Esta sección abarca el proceso completo del diseño de la estructura lumínica, destacando los métodos y herramientas utilizadas para crear un sistema de iluminación eficiente y bien organizado. El diseño se realizó utilizando el software Autodesk Fusion 360. Todo este diseño se basa en función de las fuentes luminosas ya seleccionadas.

4.4.1 Componentes y características

Se describe los elementos clave de la estructura lumínica, destacando sus materiales, diseño y funciones con los siguientes pasos:

Paso 1: Diseño de los soportes para las luminarias

La estructura cuenta con su soporte central de 1,20 metros de longitud. Debajo de este soporte central, se encuentran distribuidos 9 soportes distanciados 10 centímetros y con el acople mayor de 20cm y el acople inferior de 10 centímetros para las luminarias. Cada uno de estos soportes es ajustable, lo que permite posicionar las luminarias de manera segura y precisa. Además, se realizan varios orificios y ganchos (para fijar la estructura al techo) distribuidos a lo largo del soporte central, la cuales serán destinados para guiar y organizar los cables eléctricos de manera ordenada y segura, evitando enredos y facilitando el mantenimiento, tal como se muestra en la Figura 27.

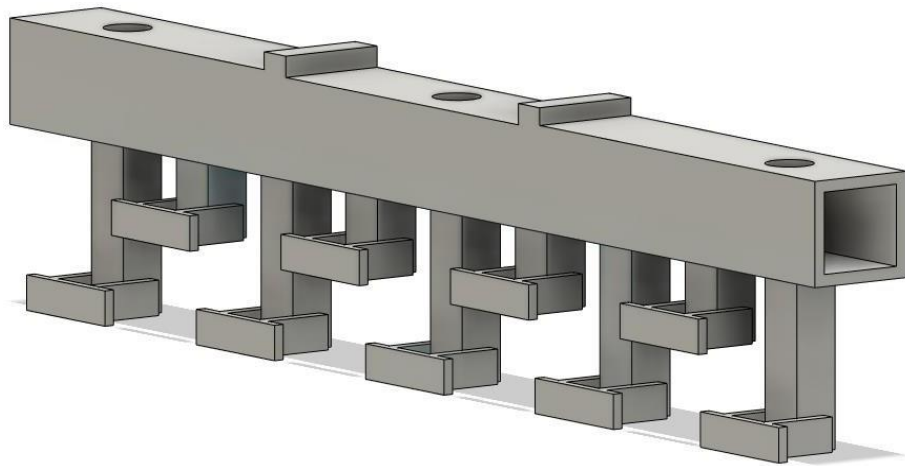


Figura 27. Disposición de soportes para la estructura lumínica.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Diseño de la caja para los equipos de control

La caja de dimensión 15 centímetros de largo, 15 centímetros de ancho y 15 centímetros de profundidad, está diseñada específicamente para albergar los equipos de control del sistema de iluminación, como se ilustra en la Figura 28. Su principal función es proteger y organizar los componentes eléctricos y electrónicos, asegurando su seguridad y facilitando el acceso para labores de mantenimiento. Además, los lados de la caja están equipadas con agujeros estratégicamente ubicados para recibir adecuadamente señales inalámbricas y cables de alimentación, asegurando una conexión eficiente y sin interferencias en la comunicación.

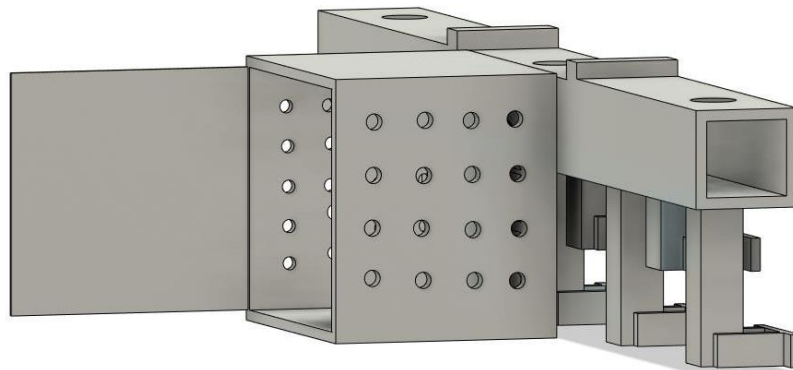


Figura 28. Diseño de la caja para equipos de control.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Color de la estructura

Después de diseñar la estructura para alojar los diferentes equipos del sistema de iluminación, es crucial considerar el color de la estructura, que en este caso es de color negro.

Este color es funcionalmente importante, ya que ayuda a reducir los rebotes de luz no deseados al minimizar las reflexiones. Esto no solo mejora la estética general del sistema, sino que también aumenta la eficiencia y el rendimiento de la iluminación, garantizando condiciones óptimas de luminosidad sin dispersión innecesaria de la luz. En la Figura 29 se presenta el diseño general de la estructura.



Figura 29. Diseño general de la estructura lumínica.

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Análisis fotométrico de las fuentes luminosas

4.5.1 Datos fotométricos dada por la esfera de Ulbricht

Para la recolección de datos fotométricos, se utiliza el equipo de la compañía LINSU, que consiste en una computadora con un software especializado, una fuente de alimentación y la esfera fotométrica, como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. LPCE-2 (LMA-9000) sistema de esfera integradora de espectrorradiómetro.

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de estabilización o calibración de todo el sistema de la esfera, se lleva a cabo durante un periodo de 30 minutos por cada fuente luminosa. Este tiempo de calibración nos

garantiza una adquisición precisa de los datos por parte de los equipos. La Figura 31 muestra la curva de estabilización del sistema.

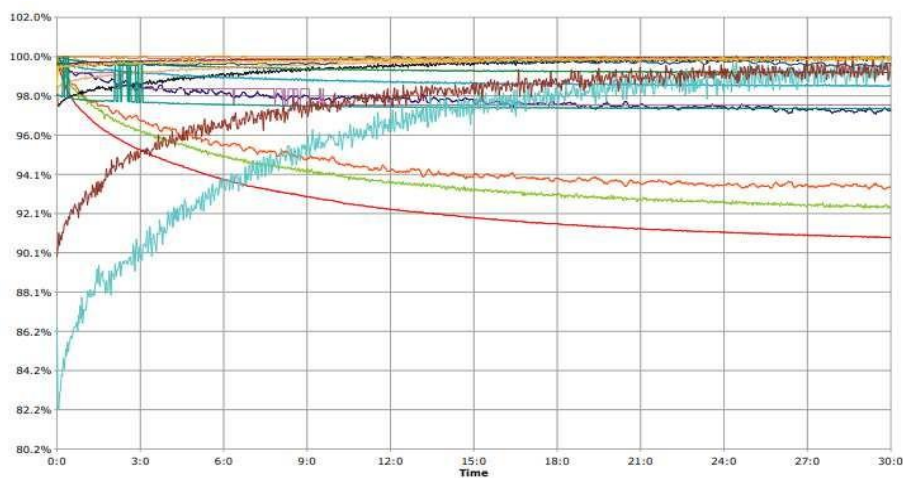


Figura 31. Curva del tiempo de estabilización de las fuentes luminosas.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizará pruebas en dos niveles de tensión de 110V y 220V, para analizar el comportamiento fotométrico de cada fuente luminosa y para así determinar en qué condiciones es mejor operar la luminaria. En la Figura 32, se muestra la colocación de las luminarias en la esfera (A=Luminaria de 100W, B= Luminaria de 30W y C= Luminaria de 12W).

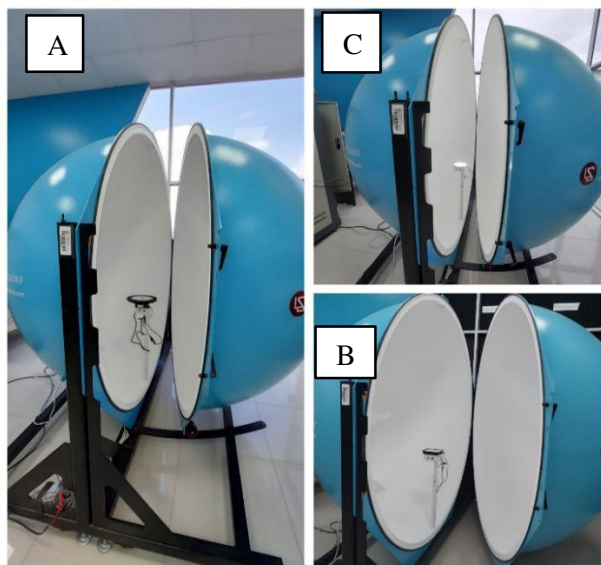


Figura 32. Encapsulado de las fuentes luminosa para el análisis fotométrico.

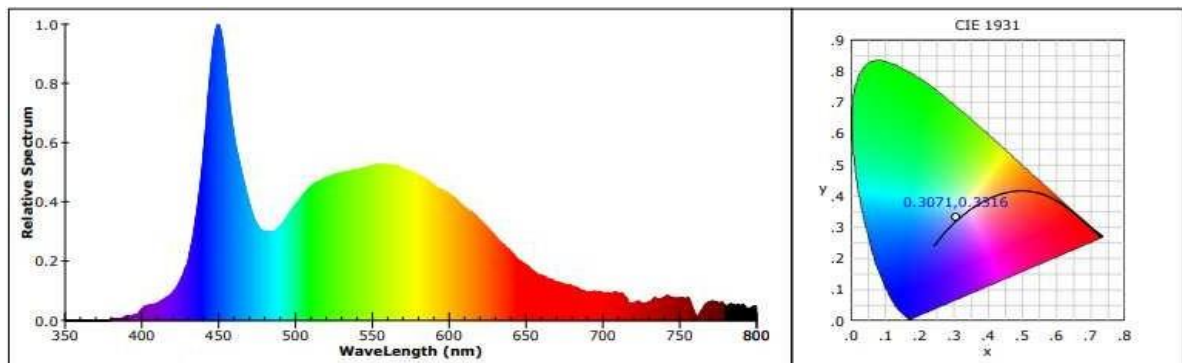
Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Evaluación fotométrica de la fuente de 12W

a) Nivel 110V/60Hz

La Figura 33 (a), se representa la gráfica de la longitud de onda (medida en nanómetros) con respecto al espectro relativo. Mientras que en la Figura 33 (b) se representa el diagrama de cromaticidad, este diagrama muestra todos los colores visibles por el ojo humano en función de las coordenadas (x, y), este modelo es adaptado por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación):

- En la Figura 33(a), se obtuvo que la longitud de onda máxima en la cual la fuente de luz emite la mayor cantidad de energía o intensidad luminosa es de 449.7nm, esta longitud de onda está en el largo del azul visible. La longitud de onda dominante, está relacionada con la percepción del color que la fuente luminosa produce, la cual se asemeja al color de la luz monocromática dando un valor de 490.9nm, es decir, entra en el rango del azul/verdoso del espectro visible.
- En la Figura 33(b), se ilustra las coordenadas CIE 1931 de coordenadas: $x=0.3071$; $y=0.3316$.



(a) Longitud de onda

(b) Diagrama de cromaticidad

Figura 33. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 110V/12W.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 34, se ilustra la gráfica de la temperatura de color correlacionada (CCT) dada en grados Kelvin, la pureza del color la fuente (Duv), el índice de rendimiento cromático general (Rg) y el índice de rendimiento cromático especial (Rf), que denotan lo siguiente:

- El CCT de 6790K, muestra que la fuente de luz tiene una temperatura de color relativamente alta, lo que la hace parecer blanca y con un tono ligeramente azulado.
- El Duv de 0.007351, denota la distancia en el diagrama de cromaticidad, esto significa que la fuente de luz tiene una ligera desviación hacia el verde/azulado (Ver Figura 33(b)).
- El Rg de 94/100, afirma cuan bien la fuente luminosa reproduce todos los colores, es decir, que la fuente de luz evaluada tiene un excelente rendimiento en la reproducción del color.

- El Rf de 83/100, indica especialmente los colores saturados, la cual nos muestra que la fuente de luz tiene un buen rendimiento en la reproducción de estos colores saturados.

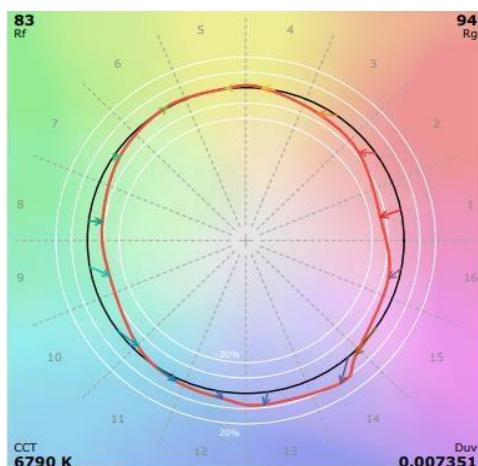


Figura 34. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 110V/12W.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, se presentan todos los parámetros evaluados tanto valor máximo, valores mínimos y cambios o variaciones.

Tabla 8. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 110V/12W.

Parámetros	Máximos	Mínimos	Cambios
Flujo luminoso ,lm	453.67	447.67	6
Potencia ,W	5.83	0	0
Eficiencia ,lm/W	76.44	0	0
CCT ,K	6790	6766	24
CIE x	0.3017	0.3004	0.00013
CIE y	0.3194	0.3138	0.0056
Longitud de onda máxima ,nm	450.6	450	0.6
Índice de reproducción cromática, Ra	78.1	77.9	0.2
Potencia radiante ,W	1.733	1.433	0.3
Voltaje ,V	110.0	0	0
Corriente ,A	0.057	0	0
Factor de potencia	0.902	0	0
longitud de onda dominante ,nm	487.7	487.4	0.3
Pureza del color	0.091	0.088	0.002
Medio ancho ,nm	23.5	22.1	0.003
Calidad del color, Qa	77.4	77.1	0.3

Fuente: Elaboración propia.

b) Nivel 220V/60Hz

- En la Figura 35(a), el resultado obtenido indica que la longitud de onda máxima en la cual la fuente de luz emite la mayor cantidad de energía o intensidad luminosa es de 451.4nm, esta longitud de onda está en el largo del azul visible. También se da que, la longitud de onda dominante está relacionada con la percepción del color que la fuente luminosa produce, la cual se asemeja al color de la luz monocromática dando un valor de 488.7nm, es decir, entra en el rango del azul/verdoso del espectro visible.
- En la Figura 35(b), se ilustra las coordenadas CIE 1931 de coordenadas: $x=0.3076$; $y=0.3273$.

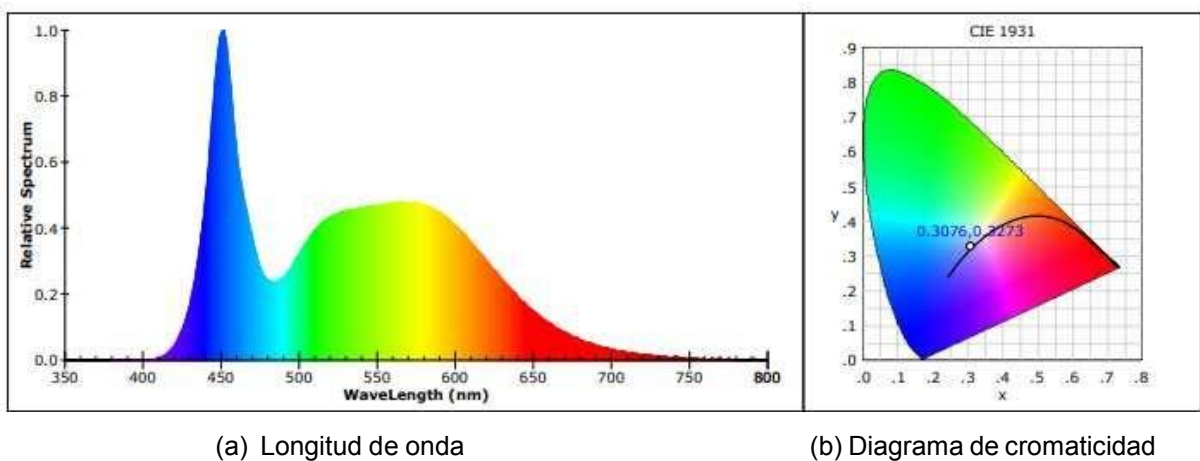


Figura 35. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 220V/12W.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 36, se ilustra la gráfica de la temperatura de color correlacionada (CCT) dada en grados Kelvin, la pureza del color la fuente (Duv), el índice de rendimiento cromático general (Rg) y el índice de rendimiento cromático especial (Rf), que reflejan lo siguiente:

- El CCT de 6802K, muestra que la fuente de luz tiene una temperatura de color relativamente alta, lo que la hace parecer blanca y con un tono ligeramente azulado.
- El Duv de 0.004909, representa la distancia en el diagrama de cromaticidad, menciona que la fuente de luz tiene una ligera desviación al azul (Ver Figura 35(b)).
- El Rg de 93/100, señala cuan bien la fuente luminosa reproduce todos los colores, es decir, que la fuente de luz evaluada tiene un excelente rendimiento en la reproducción del color.
- El Rf de 80/100, proporciona especialmente los colores saturados, la cual nos muestra que la fuente de luz tiene un buen rendimiento en la reproducción de estos colores saturados.

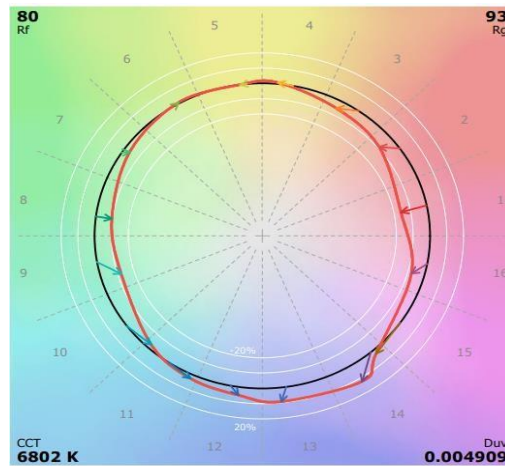


Figura 36. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 220V/12W.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9, se presentan todos los parámetros evaluados tanto valor máximo, valores mínimos y cambios o variaciones.

Tabla 9. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 220V/12W.

Parámetros	Máximos	Mínimos	Cambios
Flujo luminoso ,lm	819.93	811.43	8.5
Potencia ,W	10.4	0	0
Eficiencia ,lm/W	79.23	0	0
CCT ,K	6822	6798	24
CIE x	0.3077	0.3074	0.0004
CIE y	0.3274	0.3268	0.0006
Longitud de onda máxima ,nm	451.6	451	0.6
Índice de reproducción cromática, Ra	80.1	79.9	0.2
Potencia radiante ,W	2.607	2.567	0.04
Voltaje ,V	220.0	0	0
Corriente ,A	0.046	0	0
Factor de potencia	0.912	0	0
longitud de onda dominante ,nm	488.7	488.4	0.3
Pureza del color	0.092	0.091	0.002
Medio ancho ,nm	24.5	24.1	0.4
Calidad del color, Qa	78.4	78.1	0.3

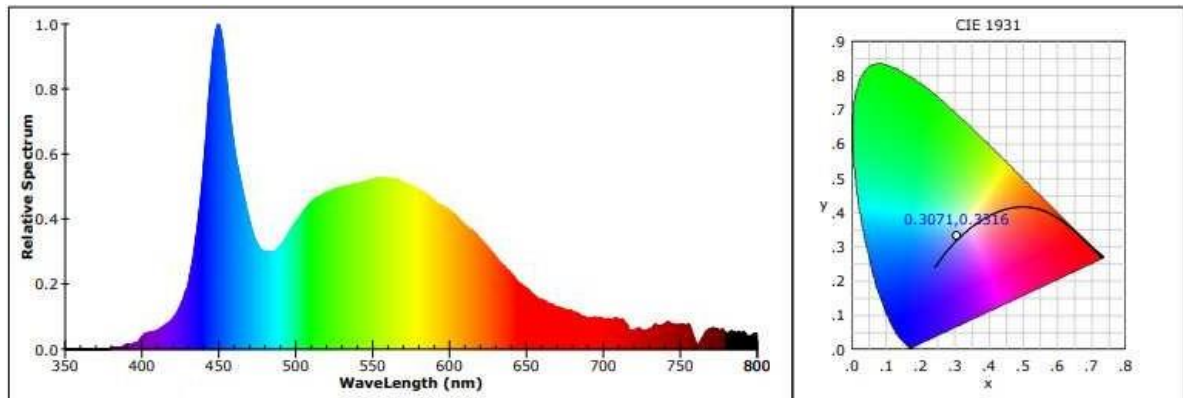
Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Evaluación fotométrica de la fuente de 30W

a) Nivel 110V/60Hz

La Figura 37(a), se observó que la longitud de onda máxima en la cual la fuente de luz emite la mayor cantidad de energía o intensidad luminosa es de 450.1nm, esta longitud de

onda está en el largo del azul visible. Además, se observa la longitud de onda dominante, está relacionada con la percepción del color que la fuente luminosa produce, dando un valor de 492.2nm, es decir, entra en el rango del azul/verdoso del espectro visible. La Figura 37(b), se ilustra las coordenadas CIE 1931 de coordenadas: $x= 0.3138$, $y=0.3341$.



(a) Longitud de onda

(b) Diagrama de cromaticidad

Figura 37. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 110V/30W.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 38, se presenta la gráfica de la temperatura de color correlacionada (CCT) dada en grados Kelvin, la pureza del color la fuente (Duv), el índice de rendimiento cromático general (Rg) y el índice de rendimiento cromático especial (Rf), que implica lo siguiente:

- El CCT de 6410K, muestra que la fuente de luz tiene una temperatura de color relativamente alta, lo que la hace parecer blanca y con un tono ligeramente azulado.
- El Duv de 0.005220, denota la distancia en el diagrama de cromaticidad, proporciona que la fuente de luz tiene una ligera desviación al azul (Ver Figura 37(b)).
- El Rg de 95/100, confirma cuan bien la fuente luminosa reproduce todos los colores, es decir, que la fuente de luz evaluada tiene un excelente rendimiento en la reproducción del color.
- El Rf de 83/100, da especialmente los colores saturados, la cual nos muestra que la fuente de luz tiene un buen rendimiento en la reproducción de estos colores saturados.

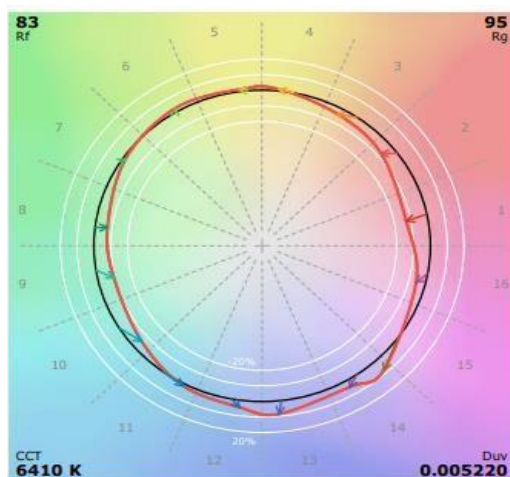


Figura 38. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 110V/30W.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10, se presentan todos los parámetros evaluados tanto valor máximo, valores mínimos y cambios o variaciones.

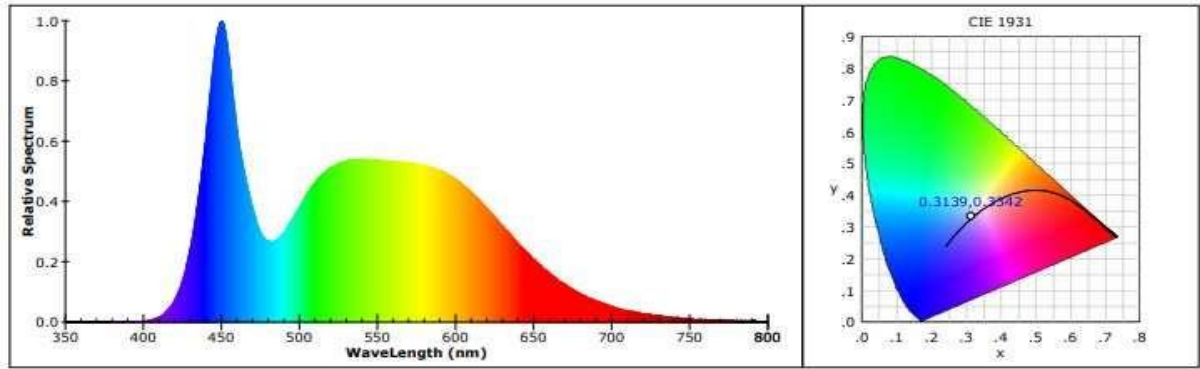
Tabla 10. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 110V/30W.

Parámetros	Máximos	Mínimos	Cambios
Flujo luminoso ,lm	2989.02	2636.63	352.39
Potencia ,W	27.41	26.35	1.06
Eficiencia ,lm/W	109.09	99.68	9.4
CCT ,K	6414	6200	214
CIE x	0.3173	0.3137	0.0036
CIE y	0.3402	0.3339	0.0063
Longitud de onda máxima ,nm	450.3	447.9	2.4
Índice de reproducción cromática, Ra	82.7	81	1.7
Potencia radiante ,W	9.435	8.471	0.964
Voltaje ,V	110.0	0	0
Corriente ,A	0.257	0.247	0.01
Factor de potencia	0.959	0.958	0.001
longitud de onda dominante ,nm	507.7	492.1	15.6
Pureza del color	0.066	0.05	0.015
Medio ancho ,nm	27.6	24	3.6
Calidad del color, Qa	82.1	81.6	0.5

Fuente: Elaboración propia.

b) Nivel 220V/60Hz

En Figura 39 (a) y (b), se obtuvo que la longitud de onda máxima es igual al dato obtenido en el punto a). Sin embargo, en donde si se presenta una pequeña variación es en la onda dominante con un valor de 492.3nm y en la coordenada CIE 1931 con un valor de x= 0.3139; y=0.3342.



(a) Longitud de onda

(b) Diagrama de cromaticidad

Figura 39. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 220V/30W.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40, se analiza la gráfica de la temperatura de color correlacionada (CCT) dada en grados Kelvin, la pureza del color la fuente (Duv), el índice de rendimiento cromático general (Rg) y el índice de rendimiento cromático especial (Rf), que señalan lo siguiente:

- El CCT de 6404K, muestra que la fuente de luz tiene una temperatura de color relativamente alta, lo que la hace parecer blanca y con un tono ligeramente azulado.
- El Duv de 0.005209, denota la distancia en el diagrama de cromaticidad, señala que la fuente de luz tiene una ligera desviación al azul (Ver Figura 39(b)).
- El Rg y Rf presentan el mismo valor proporcionada en el punto a).

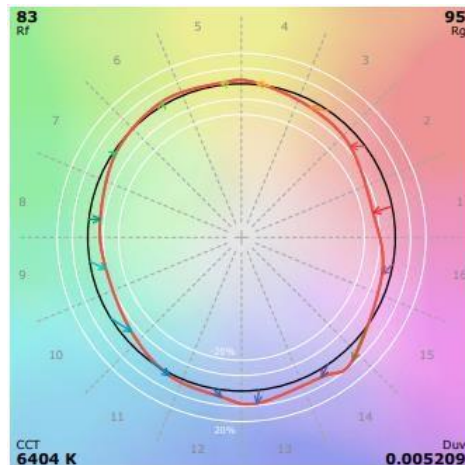


Figura 40. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 220V/30W.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11, se presentan todos los parámetros evaluados tanto valor máximo, valores mínimos y cambios o variaciones.

Tabla 11. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 220V/12W.

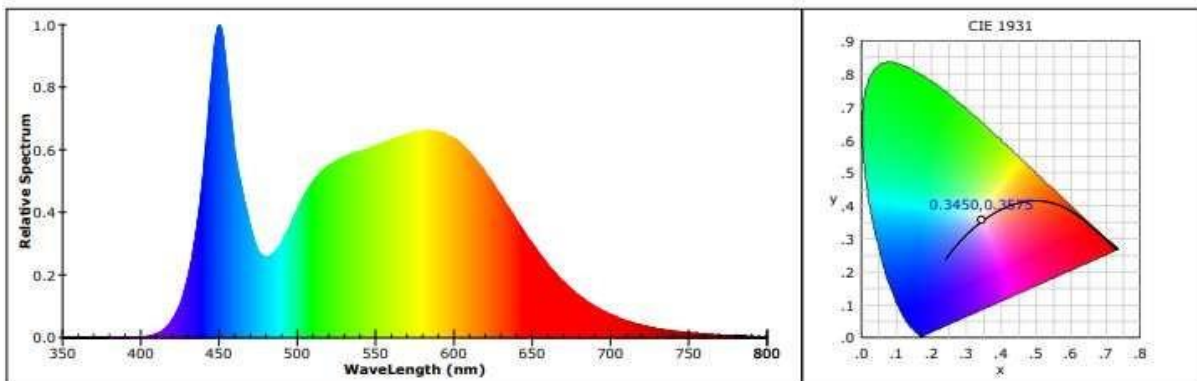
Parámetros	Máximos	Mínimos	Cambios
Flujo luminoso ,lm	2932.85	2665.2	267.65
Potencia ,W	27.87	27.06	0.81
Eficiencia ,lm/W	105.23	98.19	7.05
CCT ,K	6412	6252	160
CIE x	0.3165	0.3138	0.0026
CIE y	0.3391	0.3339	0.0051
Longitud de onda máxima ,nm	450.3	448.3	2
Índice de reproducción cromática, Ra	82.7	80.6	2.1
Potencia radiante ,W	9.268	8.559	0.709
Voltaje ,V	220.0	0	0
Corriente ,A	0.123	0.12	0.003
Factor de potencia	0.972	0.97	0.002
longitud de onda dominante ,nm	505.5	492.1	13.4
Pureza del color	0.066	0.054	0.012
Medio ancho ,nm	27.3	24.6	2.8
Calidad del color, Qa	82.1	81	1.1

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 Evaluación fotométrica de la fuente de 100W

a) Nivel 110V/60Hz

En la Figura 41(a), se obtuvo que la longitud de onda máxima en la cual la fuente de luz emite la mayor cantidad de energía o intensidad luminosa es de 450.2nm, esta longitud de onda está en el largo del azul visible. Además, se observa la longitud de onda dominante, está relacionada con la percepción del color que la fuente luminosa produce, dando un valor de 569.6nm, es decir, entra en el rango del amarillo/verdoso del espectro visible. La Figura 41(b), se ilustra las coordenadas CIE 1931 de coordenadas: $x = 0.3450$, $y = 0.3575$.



(a) Longitud de onda

(b) Diagrama de cromaticidad

Figura 41. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 110V/100W.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42, se analiza la gráfica de la temperatura de color correlacionada (CCT) dada en grados Kelvin, la pureza del color la fuente (Duv), el índice de rendimiento cromático general (Rg) y el índice de rendimiento cromático especial (Rf), que señalan lo siguiente:

- El CCT de 5024K, muestra que la fuente de luz tiene una temperatura de color moderadamente alto, lo que la hace parecer blanca y con un tono ligeramente azulado.
- El Duv de 0.002991, denota la distancia en el diagrama de cromaticidad, indicando que la fuente de luz tiene una ligera desviación al verde (Ver Figura 41(b)).
- El Rg de 96/100, afirma cuan bien la fuente luminosa reproduce todos los colores, es decir, que la fuente de luz evaluada tiene un excelente rendimiento en la reproducción del color.
- El Rf de 83/100, da especialmente los colores saturados, la cual nos muestra que la fuente de luz tiene un buen rendimiento en la reproducción de estos colores saturados.

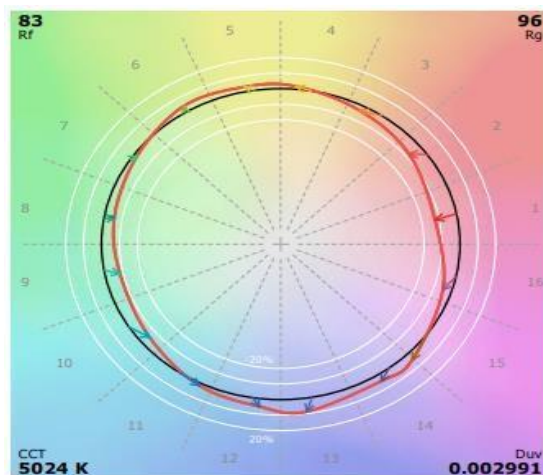


Figura 42. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 110V/100W.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12, se presentan todos los parámetros evaluados tanto valor máximo, valores mínimos y cambios o variaciones.

Tabla 12. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 110V/100W.

Parámetros	Máximos	Mínimos	Cambios
Flujo luminoso ,lm	12140.04	11629.35	510.69
Potencia ,W	94.08	92.02	2.06
Eficiencia ,lm/W	129.22	125.93	3.28
CCT ,K	5032	4980	52
CIE x	0.3464	0.3448	0.0016
CIE y	0.3597	0.3574	0.0023
Longitud de onda máxima ,nm	450.3	449.1	1.2
Índice de reproducción cromática, Ra	82.6	82.3	0.3
Potencia radiante ,W	37.322	35.919	1.403
Voltaje ,V	110	0	0
Corriente ,A	0.851	0.834	0.017
Factor de potencia	0.997	0.996	0.001
longitud de onda dominante ,nm	569.9	569.4	0.5
Pureza del color	0.119	0.107	0.011
Medio ancho ,nm	24.3	22.5	1.9
Calidad del color, Qa	82.6	81.5	1.1

Fuente: Elaboración propia.

b) Nivel 220V/60Hz

En Figura 43(a) y (b), se tiene que la longitud de onda máxima y el valor de la onda dominante es igual a los datos obtenidos en el punto a). Sin embargo, existe una pequeña variación en la coordenada CIE 1931 con un valor de $x= 0.3449$; $y=0.3574$.

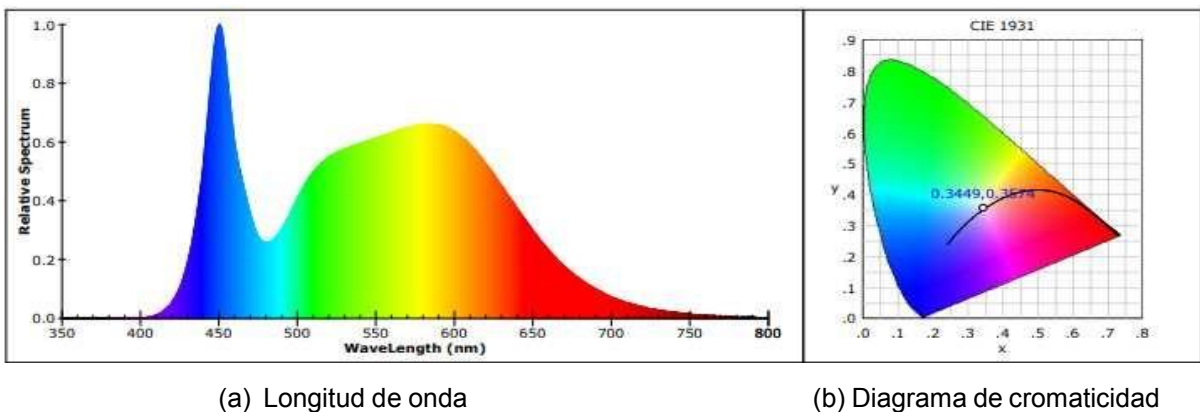


Figura 43. Parámetros colorimétricos CIE de la fuente luminosa a 220V/100W.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 44, se analiza la gráfica de la temperatura de color correlacionada (CCT) dada en grados Kelvin, la pureza del color la fuente (Duv), el índice de rendimiento cromático general (Rg) y el índice de rendimiento cromático especial (Rf), que señalan lo siguiente:

- El CCT de 5028K, indica que la fuente de luz tiene una temperatura de color moderadamente alto, lo que la hace parecer blanca y con un tono ligeramente azulado.
- El Duv de 0.002978, denota la distancia en el diagrama de cromaticidad, indicando que la fuente de luz tiene una ligera desviación al verde (Ver Figura 43(b)).
- El Rg y Rf presentan el mismo valor proporcionada en el punto a).

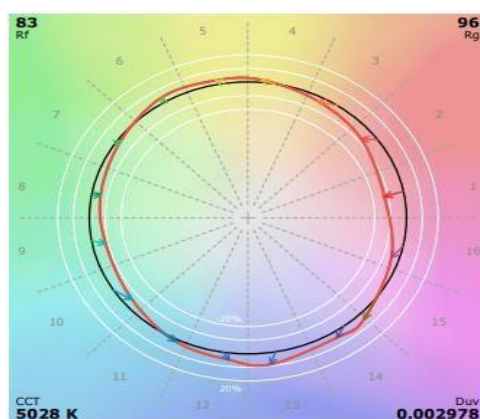


Figura 44. Grafica de caracterización de la fuente luminosa de 220V/100W.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13, se presentan todos los parámetros evaluados tanto valor máximo, valores mínimos y cambios o variaciones.

Tabla 13. Descripción de los parámetros fotométricos y eléctricos de la fuente luminosa a 220V/100W.

Parámetros	Máximos	Mínimos	Cambios
Flujo luminoso ,lm	11750.98	11629.16	121.83
Potencia ,W	94.35	91.35	3
Eficiencia ,lm/W	128.29	123.51	4.78
CCT ,K	5032	5012	20
CIE x	0.3454	0.3448	0.0006
CIE y	0.3581	0.3573	0.0008
Longitud de onda máxima ,nm	450.4	449.9	0.5
Índice de reproducción cromática,Ra	82.7	82.5	0.2
Potencia radiante ,W	36.308	35.921	0.388
Voltaje ,V	220	0	0
Corriente ,A	0.422	0.41	0.012
Factor de potencia	0.967	0.959	0.008
longitud de onda dominante ,nm	569.7	569.5	0.2
Pureza del color	0.111	0.107	0.004
Medio ancho ,nm	24.4	23.6	0.7
Calidad del color, Qa	81.7	81.5	0.2

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Diagramas de conexión de componentes de la planta emisora

En este apartado se presenta los diagramas que ilustran la composición de la planta emisora. Esta planta será la encargada de recibir la información sobre los parámetros de la frecuencia de giro del motor y la cantidad de iluminación en el área donde opera la máquina. Todos estos datos serán debidamente procesados por el módulo ESP_32_emisor, que, tras la evaluación correspondiente, procederá a enviar la información a la planta receptora.

4.6.1 Esquema del receptor de luz

En la Figura 45, se muestra el esquema del sensor que será encargado de recibir la cantidad de luxes que está incidiendo sobre el área de operación del motor eléctrico. Para la elaboración y funcionamiento adecuado se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Calibración ($R1=50k\Omega$, $R2=47k\Omega$, $R3=47k\Omega$) en función de las entradas ADC del microcontrolador ESP-32_emisor.
- Una polarización inversa del fotodiodo.
- La alimentación del circuito debe ser suministrada directamente desde el ESP-32_emisor.

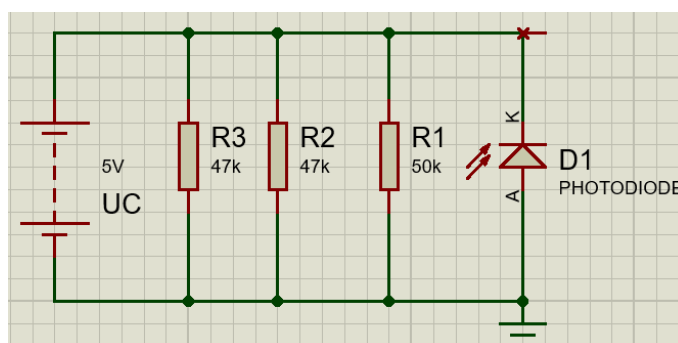


Figura 45. Esquema de conexión del sensor fotodiodo.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Diagrama de conexión del ESP-32_emisor con el sensor fotodiodo

Para establecer la conexión entre el esquema del sensor y el microcontrolador, se debe realizar desde el extremo del cátodo del fotodiodo, pasando por las resistencias a la entrada ADC del ESP_32_emisor, como se muestra en la Figura 46.

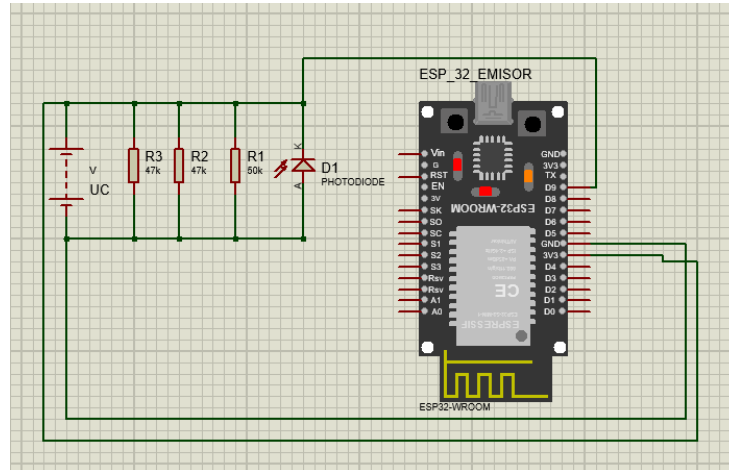


Figura 46. Esquema de conexión del ESP_32_emisor con el circuito del fotodiodo.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.3 Diagrama del divisor de tensión

Este divisor de tensión nos permite adecuar los valores de la salida analógica del variador que va desde los 0V-10V a rangos de lectura permitido por los pines analógicos (ADC) del ESP_32_emisor que es de 0 a 3.3V.

En la Figura 47, se muestra el circuito básico de un divisor de tensión que consta de dos resistencias que viene representando por la ecuación (2.12).

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{(R_1+R_2)} \quad (2.12)$$

En donde:

V_{out} = Voltaje de salida

V_{in} = Voltaje de entrada (Dada por el variador de frecuencia)

R_1 = Resistencia 1

R_2 = Resistencia 2

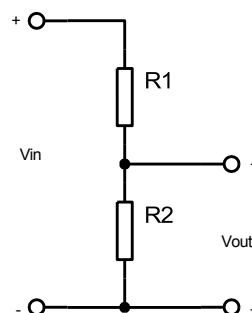


Figura 47. Divisor de tensión

Fuente: Elaboración propia.

El voltaje dado por el divisor de tensión, nos ayudará a identificar a qué frecuencia el motor está girando, la cual será interpretado por el código de programación. En la tabla 14, se muestra los valores calculados de voltaje de salida utilizando la ecuación (2.19), con sus respectivos valores en las resistencias y el equivalente a la frecuencia de giro del motor.

Tabla 14. Valores obtenidos por la ecuación (2.19) con su equivalencia en frecuencia.

FRECUENCIA(HZ)	VIN (V)	R1 (KΩ)	R2 (KΩ)	VOUT (V)
10	1.67	10	5	0.55
20	3.33	10	5	1.11
30	5	10	5	1.67
40	6.67	10	5	2.22
50	8.33	10	5	2.77
60	10	10	5	3.33

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 48, se muestra el circuito completo de la conexión del divisor de tensión a la salida analógica del variador de frecuencia y al módulo ESP_32_emisor. Es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Al momento de conectar la salida analógica del variador de frecuencia (A0) también se debe conectar el GND del variador al GND del ESP_32_emisor para tener un sistema equipotencial y así poder tener una recepción correcta de los datos.

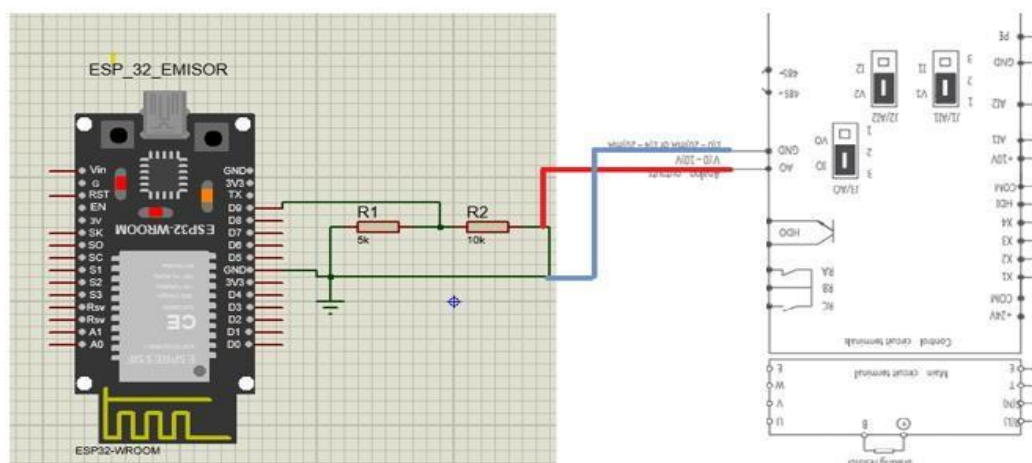


Figura 48. Esquema de conexión del divisor de tensión al variador y al ESP_32_emisor.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Diagrama funcional del motor

El diagrama presentado en la Figura 49, se ilustra la operación del motor trifásico dentro del sistema emisor. Incluye los siguientes elementos y etapas:

1. *Fuente de alimentación:* Se realiza la alimentación proporcionada por el módulo Linsu Group, proporcionado un voltaje a la salida de 220V. Posterior a esto los cables de alimentación se dirigirán a la llave termomagnética para su cierre y apertura.
2. *Controlador/Variador de frecuencia:* Desde la llave termomagnética se conecta a las entradas de alimentación del variador de frecuencia (L y N).
3. *Motor:* Desde las salidas de alimentación del variador (U, V y W), se realizan las conexiones hacia las entradas configuradas en estrella del motor trifásico. El eje de la maquina se acoplará la hélice que simula el corte de alimentos.

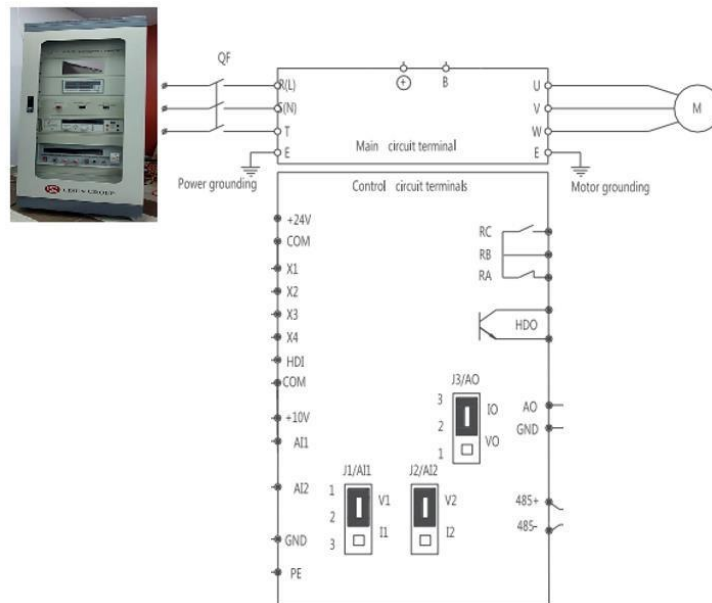


Figura 49. Diagrama de operación del motor trifásico del sistema emisor.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.5 Diagrama general del sistema emisor

La Figura 50, se presenta el diagrama general que muestra la interrelación entre todos los componentes tratados en los puntos anteriores, garantizando así un funcionamiento eficiente y coordinado de todo el sistema.

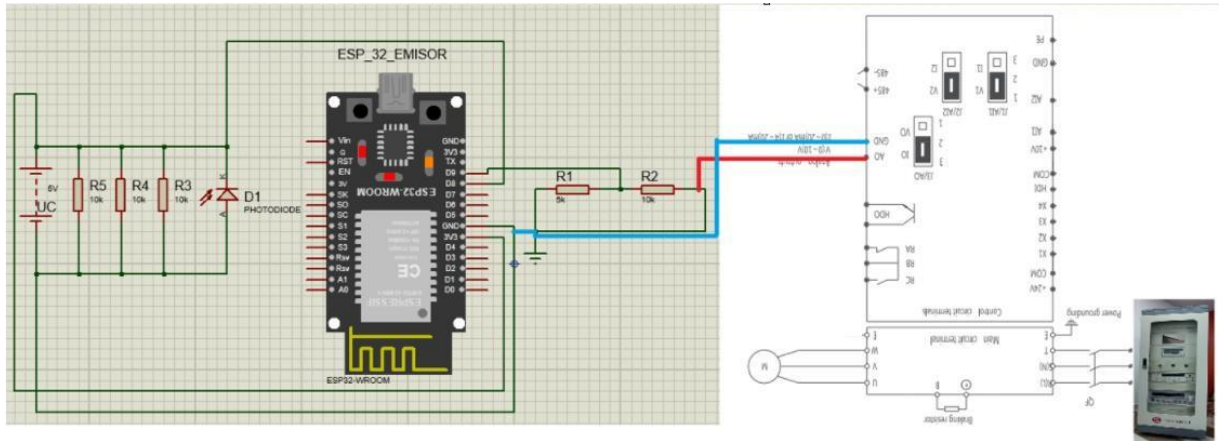


Figura 50. Diagrama de general de operación de la planta emisora.

Fuente: Elaboración propia.

4.7 Diagrama de conexión de componentes de la planta receptora

En esta sección se da a conocer los diagramas por la que está constituida la planta receptora. Esta planta será la encargada de recibir los datos mediante el ESP_32_receptor proporcionados por el ESP_32_emisor y accionar el sistema de iluminación. Además, se presenta el accionamiento manual en caso de fallas de conexión con la planta emisora.

4.7.1 Operación automática

El modulo receptor (ESP_32_receptor) en función del mensaje de datos recibidos por la planta emisora, mediante el código de programación activara el módulo de relés para encender/apagar las fuentes luminosas de acuerdo a la necesidad requería tanto en términos de iluminación como de la frecuencia de giro del motor eléctrico, como se muestra en la Figura 51. A continuación se describe el estado de operación por cada relé para el control de las luminarias:

- La señal digital 0/1 proporcionada por el ESP_32_receptor operara la entrada IN1 del módulo de relés, la cual permite el control del GRUPO_CENTRAL de luminarias compuesta por 3 fuentes.
- La señal digital 0/1 proporcionada por el ESP_32_receptor operara la entrada IN2 del módulo de relés, la cual permite el control del GRUPO_SEMICENTRAL de luminarias compuesta por 2 fuentes.
- La señal digital 0/1 proporcionada por el ESP_32_receptor operara la entrada IN3 del módulo de relés, la cual permite el control del GRUPO_SEMILATERAL de luminarias compuesta por 2 fuentes.

- La señal digital 0/1 proporcionada por el ESP_32_receptor operara la entrada IN4 del módulo de relés, la cual permite el control del GRUPO_LATERAL de luminarias compuesta por 2 fuentes.

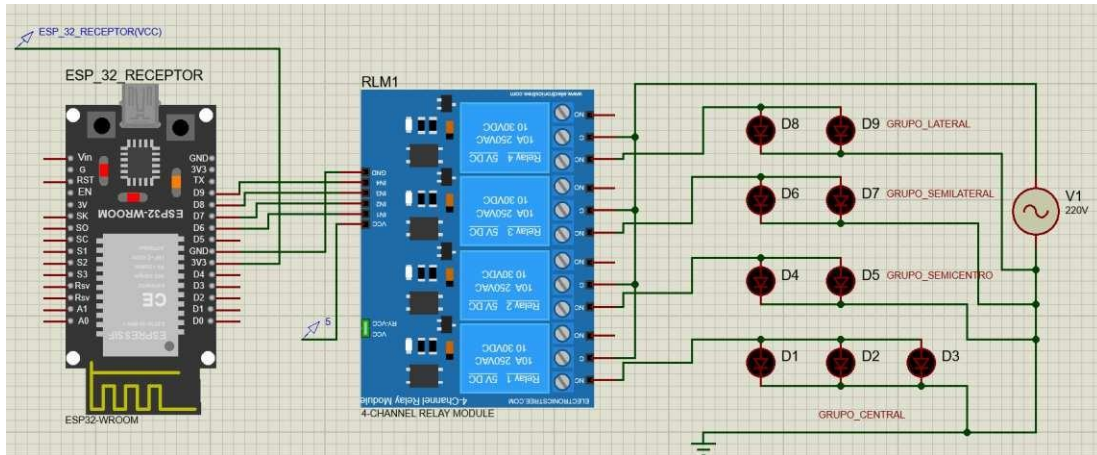


Figura 51. Diagrama de general de operación de la planta receptora

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Operación manual o de emergencia

La interacción del usuario para accionar el sistema de iluminación en caso de fallos o corte de la comunicación con la planta emisora, se lleva a cabo mediante el envío de la señal de manera inalámbrica vía Bluetooth al ESP_32_receptor. Estas señales son enviadas desde un programa desarrollado en el software de aplicaciones (MIT App Inventor) hacia el microcontrolador. El microcontrolador receptor se encarga de recibir estas señales y procesarlas de acuerdo con las instrucciones predefinidas en el entorno de programación (Arduino IDE). Para realizar este enlace de comunicación se realiza los siguientes pasos:

• Paso 1

Se procede a crear la interfaz gráfica que será operada en un dispositivo inteligente (Tablet o celular), tal como se indica en la Figura 52.

La interfaz gráfica contiene lo siguiente:

- Título del programa de nombre: Control del nivel de iluminación.
- Logo de la institución junto con el logo de luminaria LED.
- Botón (LISTA BLUETOOTH): Conecta los dispositivos Bluetooth.
- Botón (ON_LED_1; OFF_LED_1): Opera el GRUPO_CENTRAL de luminarias.
- Botón (ON_LED_2; OFF_LED_2): Opera el GRUPO_SEMICENTRAL de luminarias.
- Botón (ON_LED_3; OFF_LED_3): Opera el GRUPO_SEMILATERAL de luminarias.
- Botón (ON_LED_4; OFF_LED_4): Opera el GRUPO_LATERAL de luminarias.

- Botón (SALIR): Abandonar la interfaz de operación.



Figura 52. Interfaz gráfica de control manual del sistema receptor.

Fuente: Elaboración propia.

- **Paso 2**

Después de completar el diseño de la interfaz gráfica, el siguiente paso implica la programación de los distintos botones. Estos botones incluyen las opciones como: Lista de Bluetooth, bajar intensidad, subir intensidad y salir.

- Programación del botón “LISTA DE BLUETOOTH”: En la programación por bloques a este botón se le define IpBT. Una vez que se pulse el botón este mediante el módulo BTC, se desplegará una lista de equipos conectados a la red Bluetooth, permitiendo así conectarse al dispositivo en este caso se conectará al módulo microcontrolable. En la Figura 53 se indica la programación de este botón.

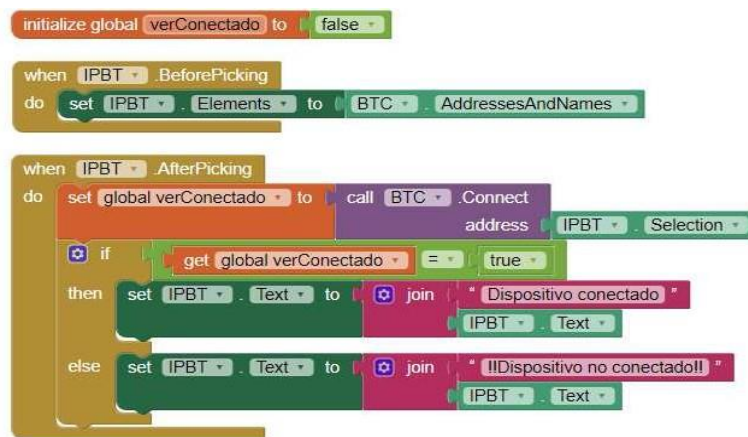


Figura 53. Programación por bloques del botón “LISTA DE BLUETOOTH”.

Fuente: Elaboración propia.

- Programación de los botones” ON_LED_1 y OFF_LED_1”: Al pulsar el botón se enviará una señal de números en decimal sea 1 o 2 (Ver Figura 54).



Figura 54. Programación por bloques de “ON_LED_1 y OFF_LED_1”.

Fuente: Elaboración propia.

- Programación de los botones” ON_LED_2 y OFF_LED_2”: Al pulsar el botón se enviará una señal de números en decimal se 3 o 4 (Ver Figura 55).



Figura 55. Programación por bloques de “ON_LED_2 y OFF_LED_2”.

Fuente: Elaboración propia.

- Programación de los botones "ON_LED_3 y OFF_LED_3": Al pulsar el botón se enviará una señal de números en decimal se 5 o 6 (Ver Figura 56).



Figura 56. Programación por bloques de "ON_LED_3 y OFF_LED_3".

Fuente: Elaboración propia.

- Programación de los botones "ON_LED_4 y OFF_LED_4": Al pulsar el botón se enviará una señal de números en decimal se 7 o 8 (Ver Figura 57).



Figura 57. Programación por bloques de "ON_LED_4 y OFF_LED_4".

Fuente: Elaboración propia.

- Programación del botón "SALIR": Este botón al momento de ser pulsado, realiza el cerrado de la aplicación volviendo a la pantalla principal del dispositivo. La Figura 58 presenta el diagrama de bloques para el botón.



Figura 58. Programación por bloques del botón "SALIR".

Fuente: Elaboración propia.

4.8 Definición de los algoritmos

4.8.1 Planta emisora

El código de la planta emisora que será cargado en el ESP_32_emisor. Transmitirá datos utilizando el protocolo ESP-NOW. Se configura el ESP_32_emisor como una estación Wi-Fi y se inicializa ESP-NOW. Luego, se define una estructura de datos que incluye un mensaje de texto y dos valores enteros, que en este caso representan lecturas del sensor fotodiodo y del variador de frecuencia. El código lee periódicamente el valor analógico del fotodiodo y del variador de frecuencia, calcula la frecuencia correspondiente del variador y empaqueta estos datos en la estructura definida. Esta estructura de datos se envía a la dirección MAC predefinida mediante ESP-NOW. Se incluye una función de callback para informar si el envío de datos fue exitoso o fallido, y el código imprime los resultados de las lecturas y del envío en el monitor serial. En la Figura 59 se presenta el flujograma con la lógica de la programación del sistema emisor y en el “Anexo 1” se presenta el código completo del ESP_32_emisor.



Figura 59. Flujograma de programación del ESP_32_emisor.

Fuente: Elaboración propia.

4.8.2 Planta receptora

El código de la planta receptora que será cargado en el ESP_32_receptor. Mediante el protocolo ESP-NOW recibe los datos enviados por el ESP_32_emisor y controla el módulo de relés según los datos recibidos. Además, permite el control manual de los relés a través de Bluetooth. Se procede con la inicialización del Bluetooth y ESP-NOW, y se definen los pines de los relés como salidas. Cuando se reciben datos mediante ESP-NOW, se almacenan en una estructura y se imprime en el monitor serie. Dependiendo del valor de la frecuencia recibida, se activan o desactivan diferentes relés. Además, se controla la activación de un relé basado en la lectura del sensor fotodiodo. En caso de fallas de comunicación en la recepción de datos, el bucle principal también permite controlar los relés manualmente mediante las señales dadas por la interfaz gráfica. En la Figura 60 se presenta el flujograma con la lógica de programación del sistema emisor y en el “Anexo 2” se ilustra el código completo del ESP_32_receptor.

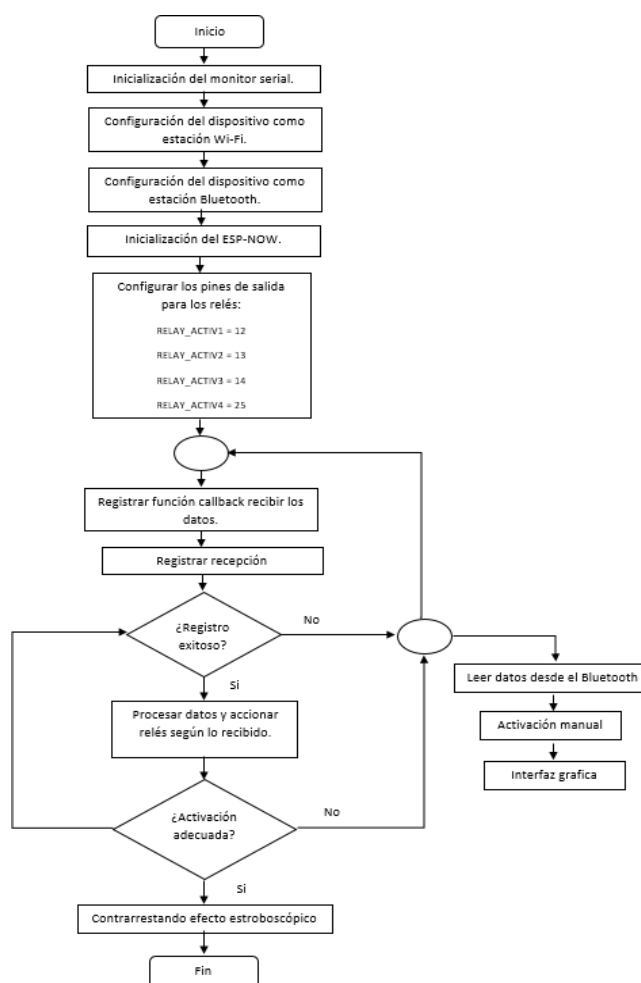


Figura 60. Flujograma de programación del ESP_32_receptor.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

5. ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS

Después de completar el diseño, se presenta los resultados obtenidos durante la construcción del sistema de iluminación inteligente, además de detallar de manera breve el proceso que se realizó en cada uno de los niveles de trabajo. Por otro lado, también se detallan y analizan los datos conseguidos por el sistema.

5.1 Implementación del sistema emisor

5.1.1 Calibración del módulo de alimentación

Se procede a calibrar el módulo de alimentación en función de la corriente eléctrica que necesita el variador de frecuencia, en este caso el variador necesita una alimentación monofásica de 220V/60Hz, como se ilustra la Figura 61.



Figura 61. Calibración del módulo de alimentación (LINSU GROUP).

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Calibración del variador de frecuencia CHNT(NVF300M)

Para realizar el correcto control del motor mediante el variador de frecuencia se procede a definir los parámetros dados por el manual del NVF-300M, las cuales se resume por la tabla 15.

Tabla 15. Parametrización del variador de frecuencia CHNT(NVF300M).

Código	Parámetro	Descripción	Valor
F0.00	Control de velocidad	Control V/F	2
F0.01	Orden de funcionamiento (RUN/STOP)	Teclado en consola	0
F0.02	Consigna de la frecuencia principal	Teclado en consola	0
F0.5	Frecuencia de inicio	RUN	5Hz
F2.00	Tipo de motor	Motor de inducción AC	0
F2.01	Potencia nominal	Valores en kW	0.12
F2.05	Numero de polos	2-24	4

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Conexión del equipo de operación

Se detalla el proceso de la conexión de cada componente eléctrico sobre el área de operación. Desde la fuente de alimentación se lleva los dos conductores eléctricos tanto la línea como el neutro a la entrada de la llave termomagnética, posterior a esto de las salidas de la llave se conecta a las entradas del variador de frecuencia y finalmente desde las salidas de variador (U, V y W) mediante un punto de conexión se procede a conectar al motor trifásico, dando como resultado lo que se muestra en la Figura 62.

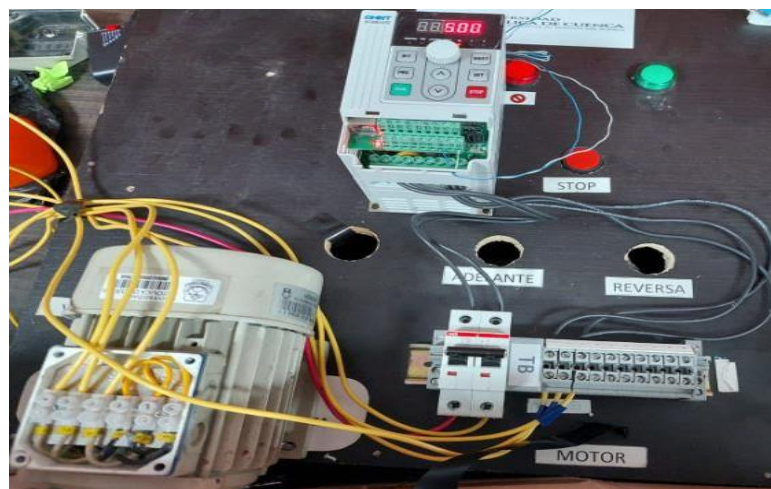


Figura 62. Conexión del equipo de operación.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Construcción y adecuación de la hélice

Para la construcción de la hélice se toma como referencia la forma mostrada en la Figura 63. Esta figura representa una maquina con una banda transportadora, que incluye un disco con tres cuchillas de color plata. El disco está conectado al eje del rotor del motor eléctrico, permitiendo un procesamiento rápido de los alimentos.



Figura 63. Modelo para la construcción de la hélice.

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza la construcción de la hélice de un material adecuado para el estudio, a fin de evitar accidentes al momento de su evaluación. Esta presenta las siguientes características:

- Presenta un diámetro de 25.4 centímetros, acoplándose al disco de alimentos industrial.
- La materia de construcción es de cartón couché.
- Presenta un forrado con papel de aluminio.
- Presenta un fondo del mismo color para una adecuación exacta.

En la Figura 64, se ilustra la construcción del disco de corte en base al modelo:



Figura 64. Construcción del disco cortador de alimentos.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5 Ensamblado del sensor fotodiodo

En la Figura 65, se muestra la construcción del sensor fotodiodo, la cual se realiza en la tarjeta perforada con sus respectivas resistencias y sus terminales de clemas.

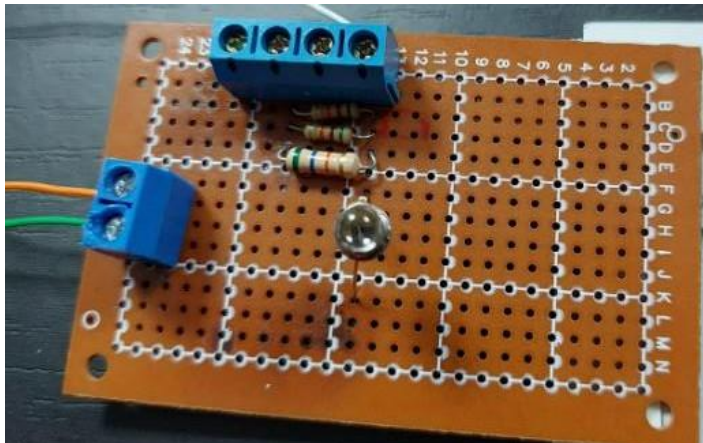


Figura 65. Ensamblando del sensor fotodiodo.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.6 Ensamblado del ESP_32_emisor y divisor de tensión

El ensamblado del microcontrolador ESP_32_emisor, se realiza junto con divisor de tensión en una protoboard junto con sus terminales de clemas, como se muestra en la Figura 66. Tener en cuenta que, para el circuito divisor de tensión, se utiliza 2 resistencias de 1k Ω y de 3k Ω en serie para obtener el valor de 5 k Ω .

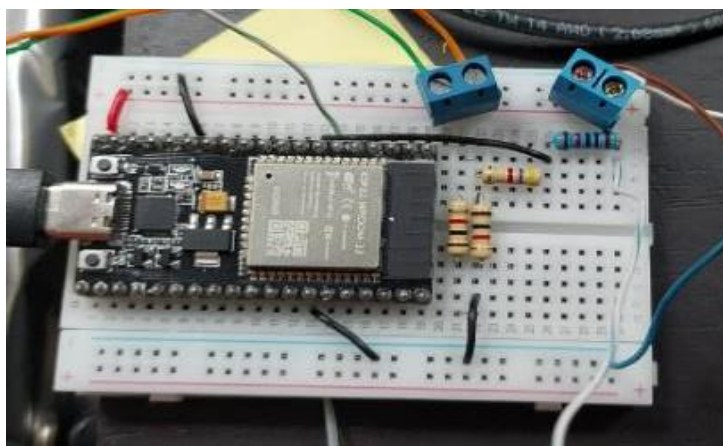


Figura 66. Ensamblando del ESP_32_emisor y divisor de tensión.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.7 Vista general del sistema emisor

En este apartado se presenta una vista general del sistema emisor (Ver Figura 67), destacando la interconexión de sus componentes: la fuente de alimentación, el variador de frecuencia, el motor trifásico, la hélice o disco de corte, el sensor fotométrico y módulo

ESP_32_emisor acoplado con del divisor de tensión. Cada componente esta cuidadosamente integrado para asegurar un funcionamiento eficiente y coordinado con la planta receptora, permitiendo el control preciso de la frecuencia de giro del motor y la monitorización de la iluminación en el área de estudio.



Figura 67. Vistas generales del sistema emisor.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Implementación del sistema receptor

5.2.1 Ensamblado de sistema de control

Se procede con el ensamblaje del ESP_32_receptor, la cual estará ensamblado en un protoboard, para posterior ser colocado una tarjeta perforada junto con su módulo de relés, como se ilustra en la Figura 68.

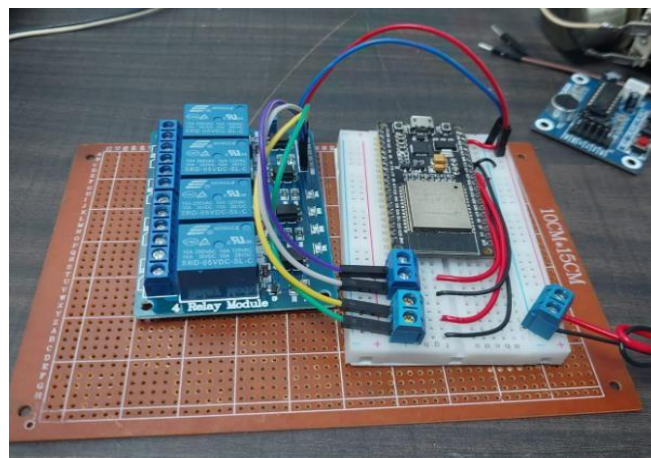


Figura 68. Ensamblando del sistema de control receptor.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Alimentación eléctrica para estructura lumínica

En este apartado se realiza el cableado tanto interno y externo de la estructura para la alimentación de las fuentes luminosas, tomando una fuente de 220V, que se conecta a la llave termomagnética, posteriormente se alimenta un conjunto de regletas conectoras permitiendo un manejo adecuado de las fases y los neutros. Además, se procede con la colocación del tomacorriente. Este proceso se presenta en la Figura 69.



Figura 69. Cableado de la estructura lumínica.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Montaje de la estructura lumínica

Una vez realizado el cableado y la colocación de los componentes de control, se procede al montaje de la estructura a una distancia del suelo de 2.77 metros y en la mitad de las dos fuentes luminosa ya existentes en el área de estudio, tal como se indica en la Figura 70.

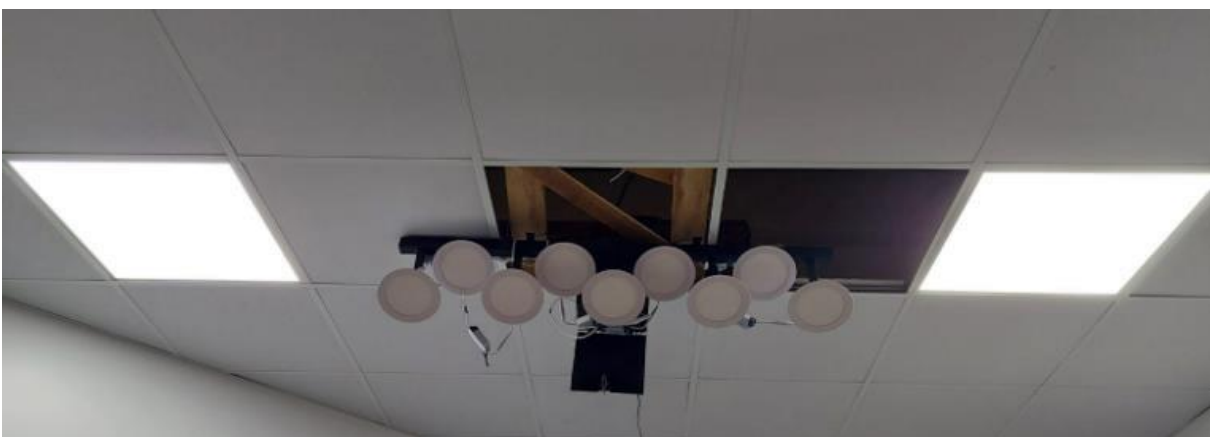


Figura 70. Montaje de la estructura lumínica.

Fuente: Elaboración propia.

Se procede con la prueba de iluminancia de cada fuente luminosa de 12W a una tensión de 220V, y a una distancia desde el área de operación de la máquina de 2 metros, dándonos un valor por cada fuente de 23570 cd/m², como se muestra en la Figura 71.



Figura 71. Medida de iluminancia de la fuente luminosa de 12W/220W.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Vista general del sistema emisor

En esta sección se presenta una vista general del sistema receptor, destacando la interconexión de sus componentes: la fuente de alimentación, el cableado estructurado, el módulo ESP_32_receptor junto con el módulo de relés. Cada componente está cuidadosamente integrado para asegurar un funcionamiento eficiente y coordinado con la planta emisora, permitiendo el control preciso del nivel de iluminación, como se muestra en la Figura 72.

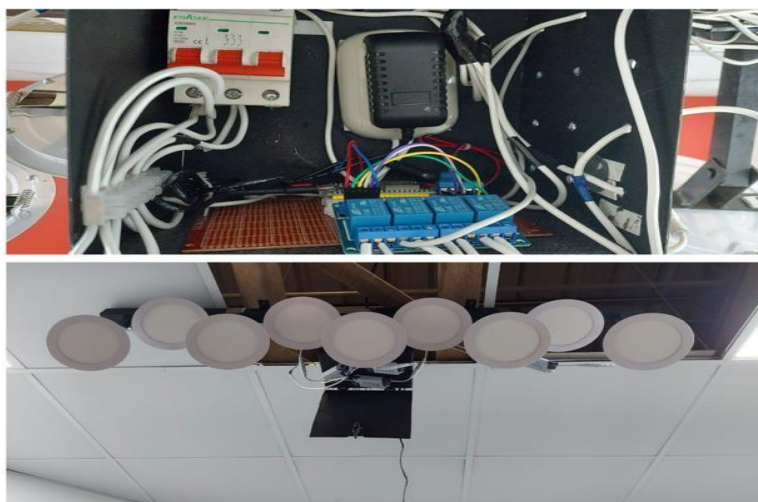


Figura 72. Montaje de la estructura lumínica.

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Operación del sistema de iluminación inteligente

Se procede con el análisis del fenómeno estroboscópico en las condiciones de iluminación del área de estudio, la maquina es ubicada en el rango de iluminación de 300lx, cumpliendo así con la normativa establecida, además cabe resaltar que el rotor de la maquina gira en sentido horario. En la tabla 16 se indica los rangos de velocidad, tanto en frecuencia como en revoluciones por minuto, en los cuales se aprecia el fenómeno estroboscópico.

Tabla 16. Rangos de velocidad en los que se observa el fenómeno estroboscópico (Frecuencia y rpm).

Frecuencia (Hz)	Velocidad(rpm)	Observación
0-10	0-300	Giro normal de rotación.
10-20	300-600	Giro normal de rotación.
20-25	600-750	Retraso en el movimiento rotacional en sentido horario.
25-30	750-900	Leve cambio en el sentido de la rotación.
30-35	900-1050	Cambio rápido del sentido de rotación.
35-40	1050-1200	Leve cambio en el sentido de giro.
40-45	1200-1350	Retraso en el giro en sentido horario.
45-50	1350-1500	No se percibe el giro en ninguno de los sentidos, ya sea horario antihorario.
50-55	1500-1650	Cambio rápido en el sentido de giro.
55-60	1650-1800	Cambio acelerado del sentido de giro.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez completado el análisis del fenómeno estroboscópico bajo condiciones normales de iluminación, se procede a mitigar este efecto mediante el sistema de iluminación inteligente, ajustando según los rangos de velocidad detectados.

- Rango de 600 a 750 revoluciones por minuto

Se activa el relé número 1, activando el grupo central de luminarias (Ver Figura 73a) dándonos un valor de luminancia de 417lx (Ver Figura 73b) sobre el área de operación mitigando el fenómeno presente en estos rangos.

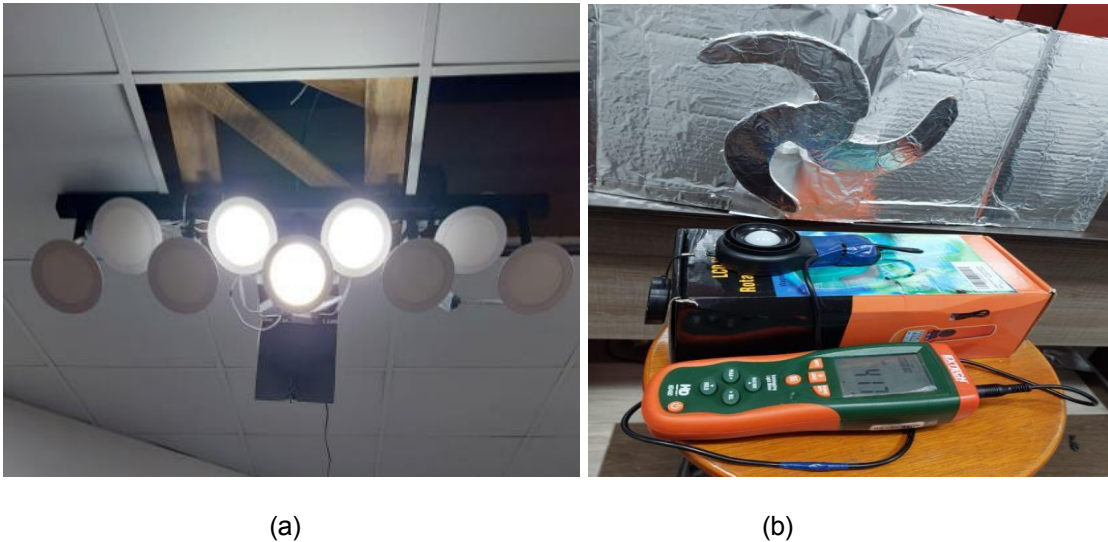


Figura 73. Activación del grupo central de luminarias.

Fuente: Elaboración propia.

- Rango de 750 a 900 revoluciones por minuto

Se activa el relé número 1 y 4, activando el grupo central y lateral de luminarias (Ver Figura 74a) dándonos un valor de luminancia de 539lx (Ver Figura 74b) sobre el área de operación, mitigando el fenómeno estroboscópico.

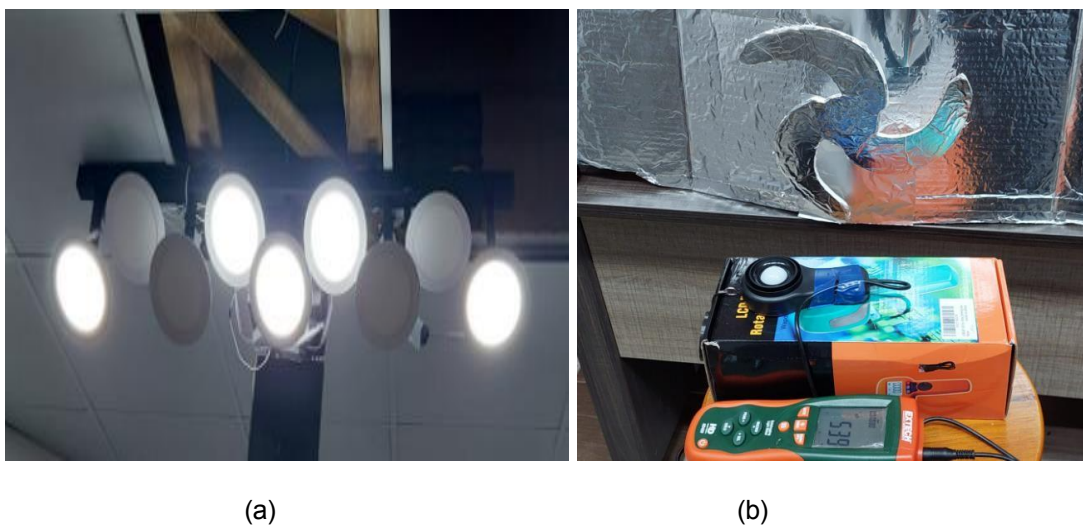


Figura 74. Activación del grupo central y lateral de luminarias.

Fuente: Elaboración propia.

- Rango de 900 a 1050 revoluciones por minuto

Se activa el relé número 1,2 y 4, activando el grupo central, semicentral y lateral de luminarias (Ver Figura 75a) dándonos un valor de luminancia de 664lx (Ver Figura 75b) sobre el área de operación, mitigando el fenómeno estroboscópico en estos rangos.



(a)

(b)

Figura 75. Activación del grupo central, semicentral y lateral de luminarias.

Fuente: Elaboración propia.

- Rango de 1050 a 1800 revoluciones por minuto

Se activa el relé número 1,2,3 y 4, activando todos los grupos de luminarias (Ver Figura 76a) dándonos un valor de luminancia de 769lx (Ver Figura 76b) sobre el área de operación, mitigando el fenómeno estroboscópico en estos rangos.



(a)

(b)

Figura 76. Activación del grupo central, semicentral, semilateral y lateral de luminarias.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Tabla de resultados de mitigación del fenómeno estroboscópico.

Frecuencia (Hz)	Velocidad(rpm)	Luminancia(lx)	Observación
20-25	600-750	417	Mitigación efectiva
25-30	750-900	539	Mitigación efectiva
30-35	900-1050	664	Mitigación efectiva
35-40	1050-1200	769	Mitigación efectiva
40-45	1200-1350	769	Mitigación efectiva
45-50	1350-1500	769	Mitigación efectiva
50-55	1500-1650	769	Mitigación efectiva
55-60	1650-1800	769	Mitigación efectiva

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el análisis fotométrico de las luminarias con un nivel de tensión de 110V/60Hz-220V/60Hz, revela diferencias notables en la luminaria de 12W, donde al operar a 220V/60Hz, el flujo luminoso aumenta de 453.65 lm a 819.93 lm, la eficiencia sube de 76.44 lm/W a 79.23 lm/W, y el consumo de corriente disminuye de 0.057A a 0.046A. En contraste, para el proyector LED de 30W y la fuente de 100W, los cambios son mínimos. El proyector LED de 30W muestra una ligera disminución en eficiencia de 109.09 lm/W a 105.23 lm/W y en flujo luminoso de 2989.02 lm a 2932.85 lm, mientras que la fuente de 100W muestra una eficiencia de 129.22 lm/W y un flujo luminoso de 12140.04 lm a 11750.98 lm a 220V/60Hz, comparado con 128.29 lm/W y 11750.98 lm a 110V/60Hz, con una notable reducción en el consumo de corriente como se muestra en la siguiente tabla 18.

Tabla 18. Tabla de resultados fotométricos y eléctrico de las luminarias LED.

Potencia (W)	12		30		100	
Nivel de operación	110V/60Hz	220V/60Hz	110V/60Hz	220V/60Hz	110V/60Hz	220V/60z
Flujo Luminoso(lm)	453.65	819.93	2989.02	2932.85	12140.04	11750.98
Eficiencia Luminosa(lm/W)	76.44	79.23	109.09	105.23	129.22	128.29
Consumo de corriente(A)	0.057	0.046	0.257	0.123	0.851	0.422

Fuente: Elaboración propia.

Las fuentes de 30W y 110W no son apropiadas para estas condiciones de estudio ya que sus parámetros fotométricos no se acoplan al área de estudio. Por lo tanto, la lámpara de 12W fue seleccionada para operar en el sistema de iluminación inteligente, utilizando niveles de 220V/60Hz, debido a su capacidad para proporcionar un flujo luminoso y una eficiencia energéticas ideales para este ambiente de estudio. Este rendimiento óptimo asegura una iluminación efectiva con un consumo de corriente reducido, haciendo que sea una elección ideal para integrarla eficientemente en un sistema que busca maximizar la eficiencia energética y el rendimiento lumínico.

La estructura lumínica no solo está diseñada para sujetar las 9 luminarias de 12W y proporcionar una distribución adecuada de la iluminación, sino que también es móvil. Los soportes ajustables y el diseño del soporte central de 1,20 metros permiten que la estructura

sea fácilmente transportable y adaptable a diferentes configuraciones espaciales. Esto proporciona flexibilidad en su uso, permitiendo ajustar y reubicar la iluminación según las necesidades específicas del entorno. Además, la movilidad asegura que el sistema de iluminación pueda ser optimizado para obtener el máximo rendimiento lumínico.

Se implementó un sistema de iluminación inteligente que ajusta automáticamente según los rangos de velocidad detectados. En el rango de 600 a 750 revoluciones por minuto, se activa el relé número 1 para proporcionar 417lx de luminancia sobre el área de operación, reduciendo significativamente el efecto estroboscópico. A medida que la velocidad aumenta, se incrementa la activación de relés y grupos de luminarias: entre 750 y 900 revoluciones por minuto, se activan los relés 1 y 4, proporcionando 539lx mediante el grupo central y lateral de luminarias. De 900 a 1050 revoluciones por minuto, los relés 1, 2 y 4 son activados, logrando 664lx con los grupos central, semicentral y lateral. Finalmente, para velocidades de 1050 a 1800 revoluciones por minuto, se activan todos los relés (1, 2, 3 y 4), obteniendo 769lx al iluminar todos los grupos de luminarias. Además, el sensor fotodiodo permite la adecuación de los niveles de iluminación, ajustando los rangos de iluminación establecidos por reglamento técnico de iluminación. Estas estrategias han demostrado ser efectivas en mantener una iluminación adecuada y constante, mitigando eficazmente el fenómeno estroboscópico en diversas condiciones operativas.

La implementación de una interfaz gráfica que se activa en caso de fallas con la planta emisora resalta la importancia de la redundancia y la continuidad operativa en los sistemas de iluminación. Esta funcionalidad asegura que, ante cualquier eventualidad que afecte la planta emisora, el sistema de iluminación pueda ser controlado y ajustado de manera remota mediante software y dispositivos inteligentes. Esto no solo mejora la fiabilidad del sistema al garantizar una respuesta rápida y eficaz ante emergencias, sino que también optimiza la seguridad y el rendimiento general del entorno iluminado, asegurando condiciones de trabajo o habitabilidad ininterrumpidas y seguras.

La importancia del uso de microcontroladores ESP-32 para mitigar el efecto estroboscópico radica en su capacidad para gestionar de manera eficiente y precisa los sistemas de iluminación. Estos dispositivos han demostrado ser fundamentales al permitir ajustar la configuración lumínica según los rangos de velocidad detectados, garantizando una respuesta rápida y efectiva. Esto es crucial en entornos como cortes de alimentos, donde la iluminación adecuada es crucial para mantener la seguridad y la precisión en las operaciones. La capacidad de los ESP-32 de adaptar la iluminación de manera dinámica asegura condiciones óptimas de visibilidad, minimizando los efectos negativos del estroboscopio y mejorando así las condiciones de trabajo.

6.2 Recomendaciones

- En la parte del acople del motor, utilizar nuevas geometrías para los de los discos de corte de alimentos, considerando variables como el número de aspas y el color del material. Realizar un análisis específico para identificar los rangos en los cuales se produce el efecto estroboscópico. Este proceso incluye realizar una calibración precisa de los códigos de programación tanto en la planta emisora como en la receptora.
- Evitar el uso de reflectores es crucial, ya que estos pueden distribuir de manera irregular la iluminancia, generando rebotes y reflexiones excesivas en el acople del eje del motor sea disco o hélice, provocando un aumento del fenómeno estroboscópico.
- Utilizar un solo tipo de fuente luminosa en la estructura lumínica, esto asegura una consistencia en los parámetros fotométricos, lo cual es crucial para gestionar de manera efectiva y precisa el fenómeno estroboscópico. Al mantener la uniformidad en las fuentes luminosas se mejora la calidad y la estabilidad de luz emitida al área de operación.
- Para optimizar el sistema de iluminación, es fundamental cumplir rigurosamente con el reglamento técnico de iluminación. Esto implica revisar meticulosamente los requisitos y niveles fotométricos definidos para el ambiente de operación correspondiente.
- Tomar como punto de partida esta investigación y aplicarla en diversos entornos industriales, para evaluar como el sistema de iluminación responde a dicho fenómeno. Esto implicara realizar pruebas y estudios en diferentes condiciones operativas de la maquina rotatoria, analizando la eficacia del sistema en la mitigación del efecto estroboscópico y su capacidad para optimizar los niveles de iluminación según las necesidades que requiera cada proceso. Estos estudios no solo validaran la aplicabilidad y versatilidad del sistema en diferentes contextos, sino que también podría proporcionar datos cruciales para ajustes y mejorar continuas de este sistema de iluminación inteligente y la programación del sistema.

7. REFERENCIAS

- Álvarez, T. (2015). *Iluminación en el puesto de trabajo*. <http://www.insht.es/catalogopublicaciones/>
- Anfalum. (2013). *Documento de posición sobre Parpadeo y Efecto Estroboscópico*.
- Aussat, Y., Rosmanis, A., & Keshav, S. (2022). A power-efficient self-calibrating smart lighting system. *Energy and Buildings*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111874>
- Bian, Y., Dai, Q., Ma, Y., & Liu, L. (2020). Variable set points of glare control strategy for side-lit spaces: Daylight glare tolerance by time of day. *SOLAR ENERGY*, 201, 268-278. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.016>
- Cachimuel, C., Segura-D´Rouville, J., & Remache-Vinueza, B. (2020). La Reingeniería aplicada al sistema de iluminación en una organización industrial. *CienciAmérica*, 9(4), 51-58. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i4.343>
- Cerón, J. E. (2013). *Manual de tipos de motores eléctricos, reconocimiento y sus aplicaciones en la industria* [bachelorThesis, Quito, 2013.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6069>
- Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals* (5th ed). McGraw-Hill.
- Cheng, D. K. (2011). *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. Pearson Educación.
- CLR. (2018, septiembre 18). *Motores monofásicos, bifásicos y trifásicos: Todo lo que necesitas saber - Blog CLR*. <https://clr.es/blog/es/motores-monofasicos-bifasicos-trifasicos/>
- Contreras, E., & Sánchez, R. (2010). *Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura diseño de máquinas II* [Universidad Industrial de Santander]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56340462/MOTOR_ELECTRICO_TRABAJO-libre.pdf?1523969127=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMOTOR_ELECTRICO_TRABAJO.pdf&Expires=1708279688&Signature=aalRrf-8KXo9xDGhIHkxP7GcTNrjhzWYacZzn~ozN1ZeibdMozKzA6hvsa-93QgtJdZ~W70PPi3jn1OwkHEBS7-1ut2J4yzwOXBndGvdP1tgVyqV1gfcUxvR42nlyAUo8sjBjn~dSvBvCPMJAhFdAWuCDwRB-

UX9TQe7UW8sUXVhX-

iEBZl6Py99x5psBw5N8vEvquxJMBcyDsGXCrr05VlqB6iGlbqFC8rSAeVuLb0QJllv35He4I7j8VB51

06XF6lLqeev0M-

GUN523ODVEhhXXVz0sM4sKkv6EtAXGOLQyG9QpcbdF1GdwojMZBk26fxotrXRjhgi3V7k~inQ

__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Cruz, F. (2019). *Banco didáctico para prueba de motores eléctricos bifásicos y trifásicos en laboratorio de electrónica de la Universidad Católica de Colombia*.

[https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/7d4408bb-ba80-49c8-bf4f-](https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/7d4408bb-ba80-49c8-bf4f-b73938d2e528)

[b73938d2e528](https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/7d4408bb-ba80-49c8-bf4f-b73938d2e528)

Gac, A. (2016). *Técnico electricista 11 - Motores eléctricos: Curso visual y práctico*. RedUsers.

Gómez, I. (2020). *Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos*. Ediciones Paraninfo, S.A.

González, D. (2007). *Ergonomía y psicología*. (Vol. 4).

[https://books.google.com/books/about/Ergonom%C3%ADa_y_psicolog%C3%ADa.html](https://books.google.com/books/about/Ergonom%C3%ADa_y_psicolog%C3%ADa.html?hl=es&id=oDBwCTg13HIC)

[?hl=es&id=oDBwCTg13HIC](https://books.google.com/books/about/Ergonom%C3%ADa_y_psicolog%C3%ADa.html?hl=es&id=oDBwCTg13HIC)

Hayt, W., & Buck, J. (2006). *Teoría electromagnética: Vol. Séptima edición* (INTERAMERICANA EDITORES).

Kosow, I. (1992). *Maquinas electricas y transformadores*.

López, D., Mideros, D., López, D., & Mideros, D. (2018). Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación. *Enfoque UTE*, 9(1), 226-235. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n1.283>

Mondelo, P., Torada, E., Gonzalez, O., & Fernández, M. (2013). *Ergonomía 4 El trabajo en oficinas* (1.^a ed.). www.upc.edu/idp

Monroy, M. (2006). *Manual de la iluminación: Vol. I* (Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria).

Nguyen, T. P. L., Nguyen, D. Q. A., Nguyen, C. T., & Lee, H.-Y. (2022). Better color distribution uniformity and higher luminous intensity for LED by using a three-layered remote phosphor structure. *MATERIALS SCIENCE-POLAND*, 40(1), 60-67. [https://doi.org/10.2478/msp-2022-](https://doi.org/10.2478/msp-2022-0010)

0010

- OIT. (2021, noviembre 18). *Programa de capacitación WISE* [Publicación].
http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/training/WCMS_828671/lang--es/index.htm
- Paco. (2014, octubre 11). coparoman: Torque de un motor eléctrico asíncrono. *coparoman*.
<https://coparoman.blogspot.com/2014/10/torque-de-un-motor-electrico.html>
- Pérez, V. V., Saiz, D. de F., & Verdú, F. M. M. (2003). *Optica fisiológica: Modelo paraxial y compensación óptica del ojo*. Universidad de Alicante.
- RETILAP. (2024). *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP)*.
- Sadiku, M. (2018). *Elements of electromagnetics* (Vol. 7). Oxford University Press.
- Sáenz, C., Hernández, B., Sanz-Carrillo, D., Pellejero, I., & Gandía, L. M. (2024). High power illumination system for uniform, isotropic and real time controlled irradiance in photoactivated processes research. *Heliyon*, *10*(10).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31309>
- Sánchez, M. G. O., & Márquez, M. F. (2018). Impacto Del Factor Iluminación Y Psicosocial En El Desempeño Laboral Del Personal De Apoyo Y Asistencia A La Educación. Caso: UPIICSA. *European Scientific Journal, ESJ*, *14*(4), Article 4.
<https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n4p223>
- Santos, R., & Santos, S. (2020, enero 29). *Getting Started with ESP-NOW (ESP32 with Arduino IDE) | Random Nerd Tutorials*. <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-esp32-arduino-ide/>
- Soto, A. S. (2021). *Electromagnetismo*. Universidad de Antioquia.
- Taguchi, T. (2008). Present Status of Energy Saving Technologies and Future Prospect in White LED Lighting. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, *3*(1), 21-26.
<https://doi.org/10.1002/tee.20228>
- Tecnolite. (2021). *¿Odias la Oficina? ¡Quizás es la luz!* Record Electric.
<http://www.recordelectric.com/odias-la-oficina-quiz-s-es-la-luz>

- Viego, P. R., Gómez, J. R., & Quispe, E. C. (2015). Motores sincrónicos de reluctancia controlados con variadores de frecuencia: Una aplicación para ahorrar energía. *Ingeniería Energética*, 36(1), 72-82.
- Vilarrasa, J., & Gago, A. (2012). *Iluminación con tecnología led*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Vives, A. (2024). *Ledvance, gran exponente de la iluminación industrial con soluciones LED que ahorran hasta un 64%*. Interempresas.
<https://www.interempresas.net/Iluminacion/Articulos/539734-Ledvance-gran-exponente-iluminacion-industrial-soluciones-LED-que-ahorran-hasta-64-por.html>
- Wang, G., Li, Z., Yuan, C., & Zhang, F. (2023). Design and Simulation of Illumination Uniformity Unit in Lithography Illumination Systems. *CHINESE JOURNAL OF LASERS-ZHONGGUO JIGUANG*, 50(13), 1305003. <https://doi.org/10.3788/CJL221435>
- Wang, X., Fu, H., & Jiang, Q. (2020). Improving the Luminous Efficiency of Marine Semiconductor GaN LED by Conventional Process. *JOURNAL OF COASTAL RESEARCH*, 343-345.
<https://doi.org/10.2112/JCR-SI112-090.1>
- WEG. (2016). *Motores IEC Trifásicos Asincronos – Motores Eléctricos*.
<https://motoreselectricosweg.com.mx/producto/motores-iec-trifasicos-milimetricos/>
- Widhartha, V. P., Ra, I., Lee, S.-Y., & Kim, C.-S. (2024). Advancing Smart Lighting: A Developmental Approach to Energy Efficiency through Brightness Adjustment Strategies. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/jlpea14010006>
- Yunquera, J. (2007). *Bluetooth como tecnología inalámbrica*.

8. ANEXOS (Programaciones y pruebas de funcionamiento)

Anexo 1. Algoritmo de programación perteneciente al ESP_32_emisor.

- Lectura de la frecuencia de giro del motor y de la cantidad de iluminación.

```
#include <esp_now.h>          // Biblioteca para manejar ESP-NOW
#include <WiFi.h>             // Biblioteca para manejar Wi-Fi

// Dirección MAC del destinatario
uint8_t broadcastAddress[] = {0xC0, 0x49, 0xEF, 0xCC, 0x98, 0x38};

// Estructura de ejemplo para enviar datos
// Debe coincidir con la estructura del receptor
typedef struct struct_message {
    char a[32];
    int b;
    int c;
} struct_message;

struct_message myData;

// Callback cuando se envían datos
void OnDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
    Serial.print(F("\r\n Paquete enviado por el maestro:\t"));
    Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Entrega exitosa" :
"Entrega fallida");
}

void setup() {
    // Inicializar el Monitor Serial
    Serial.begin(115200);

    // Configurar el dispositivo como una estación Wi-Fi
    WiFi.mode(WIFI_STA);
```

```

// Inicializar ESP-NOW
if (esp_now_init() != ESP_OK) {
    Serial.println(F("Error al inicializar ESP-NOW"));
    return;
}
Serial.print(F("Transmisor inicializado : "));
Serial.println(WiFi.macAddress());
// Definir función de envío
esp_now_register_send_cb(OnDataSent);
// Registrar peer (compañero)
esp_now_peer_info_t peerInfo;
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;
// Añadir peer
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
    Serial.println(F("Fallo al añadir peer"));
    return;
}
}
void loop() {
    //-----FOTODIODO-----
    delay(2000);
    int fotodiodo = analogRead(35); // Leer el valor del fotodiodo
    Serial.println(fotodiodo);      //Imprimir el valor leído
}

```

```

delay(500);

//-----VARIADOR-----

int variador = analogRead(32); // Leer el valor del variador

float voltaje = (variador / 4095.0) * 3.3; // Convertir el valor a voltaje

int frecuencia = ((voltaje / 3.3) * 60); // Calcular la frecuencia

Serial.println(frecuencia);

// Asignar valores para enviar

strcpy(myData.a, "DATOS DE FRECUENCIA & FOTODIODO");

myData.b = fotodiodo;

myData.c = frecuencia;

// Enviar mensaje vía ESP-NOW

esp_err_t result = esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *) &myData,
sizeof(myData));

if (result == ESP_OK) {

    Serial.println(F("Enviado con éxito"));

}

else {

    Serial.println(F("Error al enviar los datos"));

}

delay(1000);

}

```

Anexo 2. Algoritmo de programación perteneciente al ESP_32_receptor.

- Recepción de datos, activación y control de la estructura lumínica.

```
#include "BluetoothSerial.h" // Biblioteca para manejar Bluetooth
#include <esp_now.h>          // Biblioteca para manejar ESP-NOW
#include <WiFi.h>             // Biblioteca para manejar Wi-Fi
//-----MIT(MONITOREO INTELIGENTE)-----
#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth is not enabled! Please run `make menuconfig` to and enable
it
#endif

BluetoothSerial BT; // Objeto Bluetooth
//-----
// Estructura para recibir datos
typedef struct struct_message {
    char a[32];
    int b;
    int c;
} struct_message;

struct_message myData;

// Declaración de nuevas variables globales
char receivedChar[32];
int receivedIntFotodiodo;
int receivedIntFrecuencia;

// Definición del pin
const int RELAY_ACTIV1 = 12;
const int RELAY_ACTIV2 = 13;
```

```

const int RELAY_ACTIV3 = 14;

const int RELAY_ACTIV4 = 25;

//-----Recepción de datos-----
-----

// Callback cuando se reciben datos

void OnDataRecv(const uint8_t * mac, const uint8_t *incomingData, int len)
{

    // Copiar los datos recibidos en la estructura myData

    memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData));

    // Almacenar los datos recibidos en las nuevas variables

    strncpy(receivedChar, myData.a, sizeof(receivedChar));

    receivedIntFotodiodo = myData.b;

    receivedIntFrecuencia = myData.c;

    // Imprimir los datos recibidos en el monitor serie

    Serial.print("Char: ");

    Serial.println(receivedChar);

    Serial.print("Int_fotodiodo: ");

    Serial.println(receivedIntFotodiodo);

    Serial.print("Int_frecuencia: ");

    Serial.println(receivedIntFrecuencia);

    //-----ON/OFF RELES EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA-----

    if (receivedIntFrecuencia > 50) {

        digitalWrite(RELAY_ACTIV4, LOW);

        Serial.println("Pin 25 activated.");

        digitalWrite(RELAY_ACTIV3, LOW);

        Serial.println("Pin 14 activated.");
    }
}

```

```
digitalWrite(RELAY_ACTIV2, LOW);
Serial.println("Pin 13 activated.");
digitalWrite(RELAY_ACTIV1, LOW);
Serial.println("Pin 12 activated.");
} else {
digitalWrite(RELAY_ACTIV3, HIGH);
Serial.println("Pin 25 deactivated.");
}
if (receivedIntFrecuencia > 35 && receivedIntFrecuencia <= 50) {
digitalWrite(RELAY_ACTIV4, LOW);
Serial.println("Pin 14 activated.");
digitalWrite(RELAY_ACTIV2, LOW);
Serial.println("Pin 13 activated.");
digitalWrite(RELAY_ACTIV1, LOW);
Serial.println("Pin 12 activated.");
digitalWrite(RELAY_ACTIV3, HIGH);
Serial.println("Pin 25 deactivated.");
} else if (receivedIntFrecuencia <= 40) {
digitalWrite(RELAY_ACTIV2, HIGH);
Serial.println("Pin 14 deactivated.");
}
if (receivedIntFrecuencia > 25 && receivedIntFrecuencia <= 35) {
digitalWrite(RELAY_ACTIV4, LOW);
Serial.println("Pin 13 activated.");
digitalWrite(RELAY_ACTIV1, LOW);
```

```

    Serial.println("Pin 12 activated.");
    digitalWrite(RELAY_ACTIV2, HIGH);
    Serial.println("Pin 14 deactivated.");
} else if (receivedIntFrecuencia <= 30) {
    digitalWrite(RELAY_ACTIV4, HIGH);
    Serial.println("Pin 13 deactivated.");
}

if (receivedIntFrecuencia > 20 && receivedIntFrecuencia <= 25) {
    digitalWrite(RELAY_ACTIV1, LOW);
    Serial.println("Pin 12 activated.");
    digitalWrite(RELAY_ACTIV2, HIGH);
    Serial.println("Pin 13 deactivated.");
} else if (receivedIntFrecuencia <= 20) {
    digitalWrite(RELAY_ACTIV1, HIGH);
    Serial.println("Pin 12 deactivated.");
}

// Estabilidad de nivel lumínico en función del sensado del fotodiodo
if (receivedIntFotodiodo < 300) {
    digitalWrite(RELAY_ACTIV4, LOW);
    Serial.println("Pin 25 activado.");
} else {
    digitalWrite(RELAY_ACTIV4, HIGH);
    Serial.println("Pin 25 desactivado.");
}
}
}

```

```

void setup() {
    // Inicializar el monitor serie
    Serial.begin(115200);

    //-----COMUNICACIÓN BLUETOOTH-----

    BT.begin("ESP32_LED_Control_lux"); // Nombre del dispositivo Bluetooth y
en modo esclavo

    Serial.println("El dispositivo Bluetooth está listo para emparejarse");

    //-----

    // Configurar el dispositivo como una estación Wi-Fi
    WiFi.mode(WIFI_STA);

    // Inicializar ESP-NOW
    if (esp_now_init() != ESP_OK) {
        Serial.println("Error al inicializar ESP-NOW");
        return;
    }

    Serial.print(F("Receptor inicializado : "));
    Serial.println(WiFi.macAddress());

    // Definir la función de callback para recibir datos
    esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);

    //-----CONFIGURACIONES DE PINES DE SALIDA PARA RELAYS-----

    // Configurar el pin 12 como salida
    pinMode(RELAY_ACTIV1, OUTPUT);

    // Inicializar el pin 12 a LOW
    digitalWrite(RELAY_ACTIV1, LOW);

    // Configurar el pin 13 como salida
    pinMode(RELAY_ACTIV2, OUTPUT);
}

```

```

// Inicializar el pin 13 a LOW
digitalWrite(RELAY_ACTIV2, LOW);

// Configurar el pin 14 como salida
pinMode(RELAY_ACTIV3, OUTPUT);

// Inicializar el pin 14 a LOW
digitalWrite(RELAY_ACTIV3, LOW);

// Configurar el pin 25 como salida
pinMode(RELAY_ACTIV4, OUTPUT);

// Inicializar el pin 25 a LOW
digitalWrite(RELAY_ACTIV4, LOW);
}

void loop() {

  // El bucle principal puede estar vacío ya que la lógica se maneja en el
  callback

  if (BT.available()) { // Comprobar si recibimos algo de Bluetooth

    int incoming = BT.read(); // Leer lo que recibimos

    Serial.print("Recibido: "); // Imprimir en monitor serie

    Serial.println(incoming); // Imprimir el valor recibido desde el
    Bluetooth

    // Controlar los relés basados en los valores recibidos

    if (incoming == 1) { // Si recibimos 1 desde Bluetooth

      digitalWrite(RELAY_ACTIV1, LOW); // Encender relé 1

    }

    if (incoming == 3) { // Si recibimos 3 desde Bluetooth

      digitalWrite(RELAY_ACTIV2, LOW); // Encender relé 2

    }

  }
}

```

```

    if (incoming == 5) { // Si recibimos 5 desde Bluetooth
        digitalWrite(RELAY_ACTIV3, LOW); // Encender relé 3
    }

    if (incoming == 7) { // Si recibimos 7 desde Bluetooth
        digitalWrite(RELAY_ACTIV4, LOW); // Encender relé 4
    }

    if (incoming == 2) { // Si recibimos 2 desde Bluetooth
        digitalWrite(RELAY_ACTIV1, HIGH); // Apagar relé 1
    }

    if (incoming == 4) { // Si recibimos 4 desde Bluetooth
        digitalWrite(RELAY_ACTIV2, HIGH); // Apagar relé 2
    }

    if (incoming == 6) { // Si recibimos 6 desde Bluetooth
        digitalWrite(RELAY_ACTIV3, HIGH); // Apagar relé 3
    }

    if (incoming == 8) { // Si recibimos 8 desde Bluetooth
        digitalWrite(RELAY_ACTIV4, HIGH); // Apagar relé 4
    }

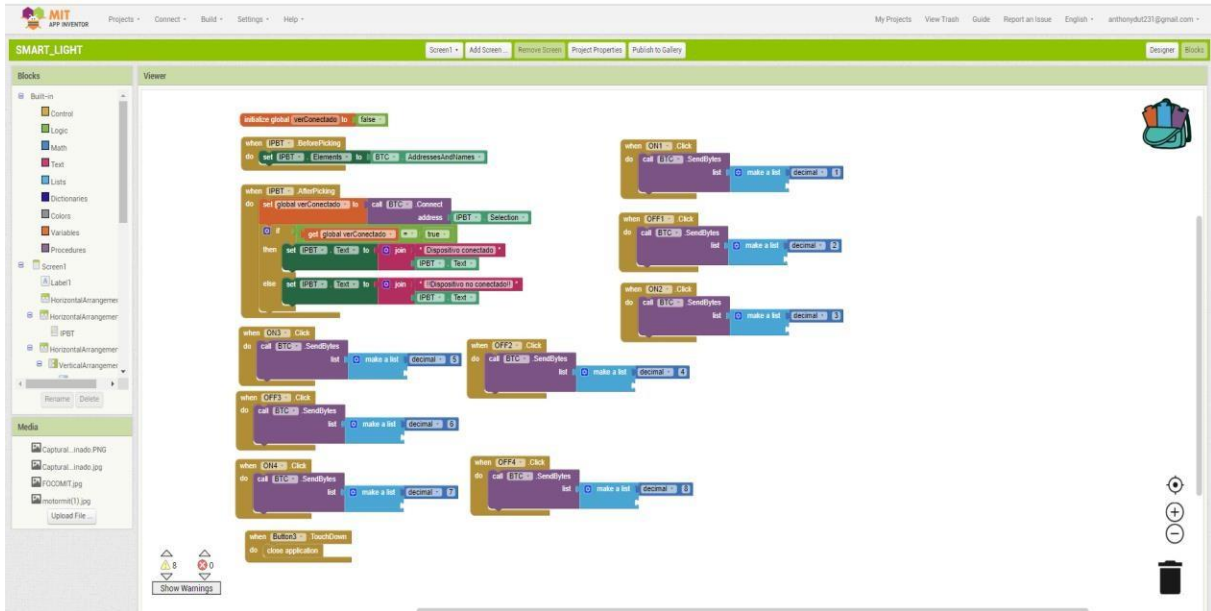
}

delay(20); // Pequeña pausa para estabilizar
}

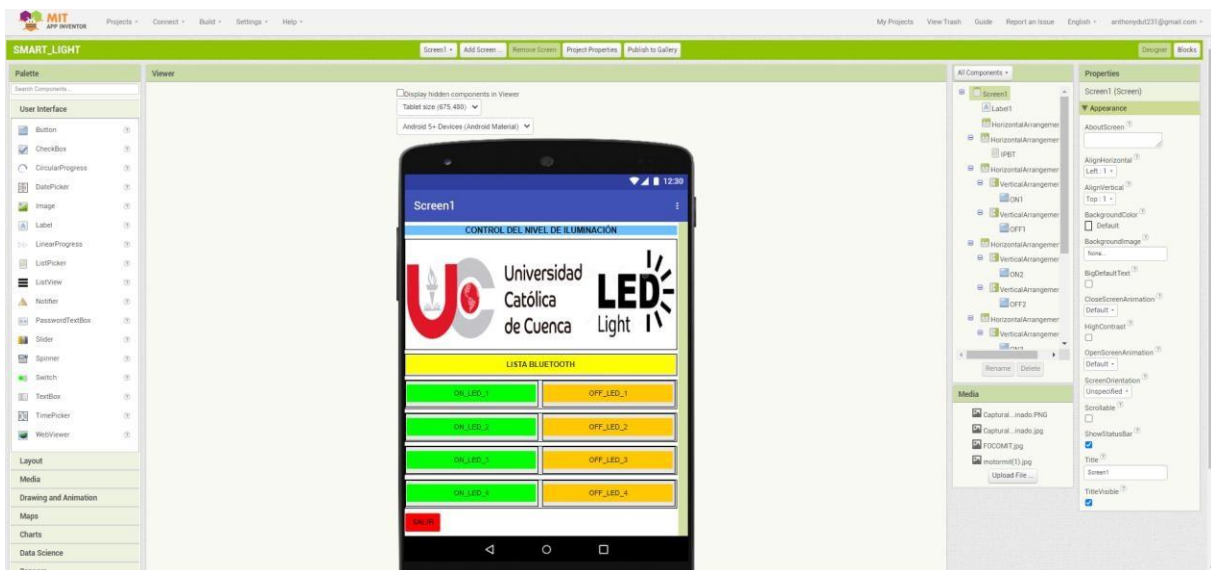
```

Anexo 3. Vista general de la interfaz gráfica de la operación manual del sistema.

- Programación general por bloques.



- Vista general de la interfaz.



Anexo 4. Montaje de la estructura luminica.

- Montaje de la estructura al cielo raso del laboratorio de luminotecnia.



- Colocación de cada fuente luminosa.



Anexo 5. Revisión del estado de los módulos LED.

La revisión del estado de los módulos LED es un proceso fundamental para asegurar la calidad y el rendimiento óptimo del sistema de iluminación. Este proceso incluye varias etapas clave:

- *Inspección Visual:* Se examinan los módulos LED para identificar cualquier daño físico, como grietas, deformaciones o conexiones sueltas.
- *Medición de Parámetros Eléctricos:* Se realizan mediciones de corriente y voltaje para asegurarse de que los módulos operen dentro de los parámetros especificados por el fabricante.



- *Pruebas de Funcionamiento:* Se encienden los módulos LED y se verifica que todos los componentes funcionen correctamente. Esto incluye la comprobación de la intensidad lumínica, la uniformidad de la luz y la ausencia de parpadeos o fallos intermitentes.



- Pruebas de luminancia.



- Se obtiene valores uniformes de cada fuente.



Anexo 6. Calibración y comunicación de los sistemas.

- Se comprueba la comunicación establecida entre los sistemas, tanto de la planta emisora como la planta receptora.



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Anthony Rafael Dután Rojas portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302306675. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Iluminación inteligente con tecnología led para mitigar el efecto estroboscópico en máquinas eléctricas rotatorias” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 3 de julio de 2024



Anthony Rafael Dután Rojas

0302306675