

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESINA PARA OPTAR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Diseño e implementación de un prototipo de luxómetro
automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un
sistema robótico y almacenamiento de datos para la empresa**

LUMISENS durante el año 2025.

Sustentante:

Jorge Antonio Ulate Araya

Tutor:

Ing. José Medrano Cerdas

Enero, 2026

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
DECLARACIÓN JURADA	8
CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA	9
CARTA DEL TUTOR	11
CARTA DEL LECTOR	12
CARTA AUTORIZACION CENIT	13
DEDICATORIA	15
AGRADECIMIENTO	16
RESUMEN	17
CAPÍTULO I	18
PROBLEMA DEL PROYECTO	18
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	19
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa	19
1.1.2 Justificación del proyecto	24
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	27
1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
1.3.1 Objetivo general	31
1.3.2 Objetivos específicos.....	32
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	33
1.4.1 Alcances	33
1.4.2 Limitaciones	34
CAPÍTULO II	37
MARCO TEÓRICO	37
2.1 Contexto histórico	38
2.2 Contexto teórico	40
2.3 Contextualización	60
CAPÍTULO III	64

MARCO METODOLÓGICO.....	64
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	65
3.1.1 Enfoque de la investigación.....	68
3.1.2 Dimensión Temporal.....	70
3.1.3 Marco de la Investigación.....	71
3.1.4 Naturaleza de la Investigación.....	72
3.1.5 Carácter de la investigación.....	73
3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	73
3.2.1 Fuentes primarias.....	74
3.2.2 Fuentes secundarias	74
3.2.3 Sujetos de información	74
3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS.....	75
3.3.1 Observación.....	75
3.3.2 Entrevista.....	77
3.3.3 Encuesta.....	78
3.4 FACTORES DEL PROYECTO.....	80
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	84
3.6 IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	88
<i>CAPÍTULO IV.....</i>	89
<i>DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</i>	89
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	90
4.2 RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS.....	100
4.2.1 Recolección de datos	100
4.2.2 Instrumento para recolección de datos.....	101
4.3 ANÁLISIS DE BRECHAS.....	140
<i>CAPÍTULO V</i>	145
<i>DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....</i>	145
5.1 ASPECTOS DE DISEÑO	146
Diseño mecánico:.....	147
5.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROTÓTIPO	157
5.2.1 Estructura mecánica del prototipo.....	157
5.2.2 Sistema de movilidad.....	158
5.2.3 Integración del sensor de iluminación.....	159
5.2.4 Sistema de control y procesamiento.....	161
5.2.5 Sistema de alimentación.....	162
5.2.6 Ensamblaje final y verificación.....	163
5.2.7 Software del sistema:	165
5.3 IMPLEMENTACIÓN.....	185
5.4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	189

5.5	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	193
<i>CAPÍTULO VI</i>		196
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>		196
6.1	CONCLUSIONES	197
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>		201
<i>GLOSARIO</i>		211
<i>ANEXO</i>		212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	20
Figura 2	22
Figura 3	28
Figura 4	29
Figura 5	40
Figura 6	43
Figura 7	45
Figura 8	46
Figura 9	50
Figura 10	51
Figura 11	59
Figura 12	61
Figura 13	62
Figura 14	67
Figura 15	72
Figura 16	78
Figura 17	80
Figura 18	81
Figura 19	91
Figura 20	92
Figura 21	93
Figura 22	94
Figura 23	95
Figura 24	96
Figura 25	97
Figura 26	98
Figura 27	99
Figura 28	113
Figura 29	114
Figura 30	115
Figura 31	116
Figura 32	117
Figura 33	118
Figura 34	119
Figura 35	120
Figura 36	121

Figura 37	122
Figura 38	123
Figura 39	124
Figura 40	125
Figura 41	126
Figura 42	127
Figura 43	128
Figura 44	129
Figura 45	130
Figura 46	134
Figura 47	137
Figura 48	140
Figura 49	141
Figura 50	148
Figura 51	150
Figura 52	152
Figura 53	153
Figura 54	154
Figura 55	158
Figura 56	164
Figura 57	165
Figura 58	166
Figura 59	167
Figura 60	168
Figura 61	169
Figura 62	170
Figura 63	173
Figura 64	174
Figura 65	175
Figura 66	176
Figura 67	178
Figura 68	179
Figura 69	180
Figura 70	181
Figura 71	182
Figura 72	184
Figura 73	187
Figura 74	188
Figura 75	191
Figura 76	192

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	23
Tabla 2	48
Tabla 3	54
Tabla 4	56
Tabla 5	85
Tabla 6	88
Tabla 7	103
Tabla 8	112
Tabla 9	131
Tabla 10	135
Tabla 11	138
Tabla 12	143
Tabla 13	169
Tabla 14	189
Tabla 15	190

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Jorge Antonio Ulate Araya, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 6-0256-0360 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Diseño e implementación de un prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico y almacenamiento de datos para la empresa LUMISENS durante el año 2025, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

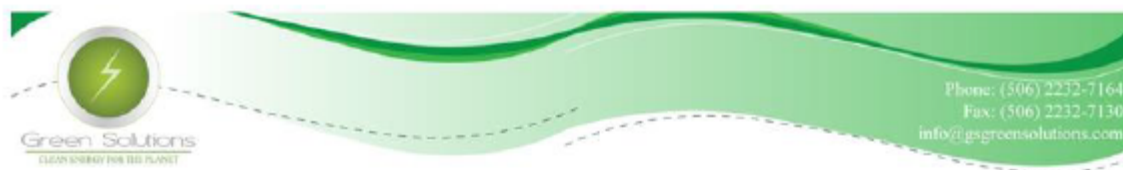
En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los nueve días del mes de enero del año dos mil veinte y seis.



Firma del estudiante

Cédula: 602560360

CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA



LUMISENS, S.A.
 CEDULA JURIDICA: 3-101-209749
 TEL-FAX: 2296-9900

San José, 05 de enero del 2026

Señores: Universidad Hispanoamericana
 Presente

Carta de aprobación y conformidad del proyecto de tesina

Por medio de la presente la empresa LUMISENS, S.A., hace constar que el señor Jorge Antonio Ulate Araya con cedula no. 6-0256-0360 estudiante de la Universidad Hispanoamericana en la carrera de ingeniería electrónica realizó el proyecto que lleva como título: Diseño e implementación de un prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico y almacenamiento de datos para la empresa LUMISENS durante el año 2025.

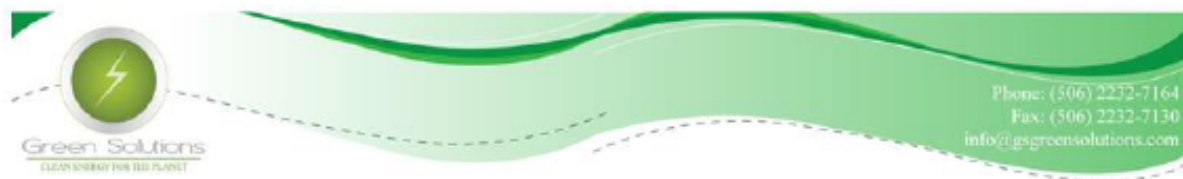
El estudiante ejecutó el proyecto de manera satisfactoria, alcanzando en gran medida los objetivos propuestos. Durante la ejecución el estudiante demostró alto nivel de conocimiento y compromiso realizando las investigaciones con responsabilidad y gran capacidad técnica por lo que el prototipo realizado cumple con los alcances que se trazaron en el inicio del proyecto.

Por otra parte, los resultados obtenidos en la implementación del prototipo permiten a la gerencia valorar invertir económicamente en un desarrollo mas robusto para llevarlo a ambientes más extremos por su gran capacidad de soluciones que ofrece el prototipo.

A través de la realización del proyecto, el estudiante contó con mi supervisión técnica y el respaldo del sr.

www.GSgreenSolutions.com

San José / Costa Rica / 2 blocks west, 25 meters north from USA embassy



Gustavo Mercado Sánchez en su calidad de diseñador de iluminación y que certificamos el cumplimiento y calidad del proyecto realizado.

Por tanto, la empresa LUMISENS, S.A., certifica el buen desarrollo del proyecto y manifiesta su conformidad con los resultados obtenidos.

En base a lo anterior, se extiende la presente carta de aprobación y finalización del proyecto de tesina.

Atte.

HO SHUM
TSANG
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
HO SHUM TSANG
(FIRMA)
Fecha: 2026.01.16
16:34:37 -06'00'

Esteban Shum Tsang

Gerente General LUMISENS, S.A.

CARTA DEL TUTOR



CARTA DEL TUTOR

San José, 08 de enero del 2026

Señores
Servicios estudiantiles
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Jorge Ulate Araya, cédula de identidad número 602560360, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*Diseño e implementación de un prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico y almacenamiento de datos para la empresa LUMISENS durante el año 2025*", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	20
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	30
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	20
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
Total:		100	100

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

JOSE LUIS
MEDRANO CERDAS
(FIRMA)

Firmado digitalmente por JOSE
LUIS MEDRANO CERDAS (FIRMA)
Fecha: 2026.01.08 18:27:59 -06'00'

José Luis Medrano Cerdas
Cédula de identidad: 5-0312-0152
Carné colegio profesional: IET-17491

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 22 de marzo del 2026

Señores
Departamento de Servicios Estudiantiles
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Jorge Antonio Ulate Araya, cédula de identidad número 602560360, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*Diseño e implementación de un prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico y almacenamiento de datos para la empresa*", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado detalladamente el documento, validando que los formatos, referencias bibliográficas, coherencia de los objetivos, marco teórico y otros elementos de la implementación se encontraran en cumplimiento. Además, analicé la aplicabilidad, las conclusiones y la originalidad de las recomendaciones, valorando el aporte que brinda esta investigación.

Basado en el proceso de lectura realizado, proceso a brindar aval a la tesina en mi calidad de lector, por tanto, se autoriza continuar con los trámites requeridos.

Atentamente,

Sergio Bermúdez Porras
Cédula de identidad: 109170708
Carné colegio profesional: IEL-13071

CARTA AUTORIZACION CENIT

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 30 de marzo del 2026

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Jorge Antonio Ulate Araya con número de identificación 602560360 autor (a) del trabajo de graduación titulado Diseño e implementación de un prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico y almacenamiento de datos para la empresa LUMISENS durante el año 2025 presentado y aprobado en el año 2026 como requisito para optar por el título de bachiller en Ingeniería Electrónica; Si autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

 602560360
Firma y Documento de Identidad

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi núcleo familiar: mi esposa, mi hijo y mis hijas, quienes siempre creyeron en mí y, a pesar de los sacrificios realizados, me brindaron un apoyo incondicional.

De igual manera, a mi hermana Xinia Ulate Araya, por su constante respaldo desinteresado y a todas las personas que de una u otra forma intervinieron en el transcurso de esta carrera.

A todos ellos y ellas les dedico este trabajo; sin embargo, de manera especial, lo encomiendo a Dios, pilar fundamental en mi vida, ya que sin Él no habría sido posible culminar esta tesina.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, agradezco a Dios, quien me ha permitido mantenerme firme, con salud física y mental, y sin cuyo apoyo no habría sido posible culminar la redacción del presente documento. Asimismo, expreso mi agradecimiento a mi familia, por la paciencia, comprensión y respaldo brindados durante el tiempo que demandó la realización de la carrera y el desarrollo de este trabajo.

De manera especial, agradezco a la Universidad Hispanoamericana por proporcionar las condiciones académicas y tecnológicas necesarias para la adquisición de los conocimientos que exige la carrera. Igualmente, extendiendo mi reconocimiento al cuerpo docente, cuyos esfuerzos, dedicación y compromiso en cada curso contribuyeron de manera significativa a mi formación profesional y a mi desarrollo académico.

Agradezco también a la empresa LUMISENS S.A. por abrirme sus puertas y brindar el apoyo necesario para la ejecución del proyecto. De forma particular, expreso mi sincero agradecimiento al Ing. Gustavo Mercado, por su disposición, orientación y valiosos aportes técnicos, los cuales fueron fundamentales para la correcta realización del presente trabajo.

Finalmente, agradezco a mis compañeros de la universidad, quienes a lo largo de los cursos compartidos demostraron compañerismo y generosidad al aportar sus conocimientos y experiencias, contribuyendo así al enriquecimiento del proceso de aprendizaje.

RESUMEN

La presente tesina tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema electrónico automatizado para la realización de mediciones fotométricas, mediante la integración de un robot móvil capaz de desplazarse de forma controlada, capturar datos de iluminación y almacenarlos en una base de datos estructurada. El proyecto se desarrolla como respuesta a las limitaciones identificadas en el proceso manual de medición utilizado por la empresa LUMISENS S.A., el cual presenta errores significativos asociados a la intervención humana, baja repetibilidad de las mediciones, pérdida de información y elevados tiempos de ejecución. La investigación se enmarca en un enfoque exploratorio y aplicado, apoyado en la revisión bibliográfica, el análisis de brecha tecnológica y el desarrollo de un prototipo funcional. El sistema integra componentes de hardware y software, entre los que destacan un microprocesador Raspberry Pi, sensores de iluminación y variables ambientales, un sistema de movilidad robótica basado en motores de corriente continua y una interfaz gráfica desarrollada en lenguaje Python mediante la librería Tkinter. Asimismo, se diseñó y normalizó una base de datos en MariaDB que permite el almacenamiento, consulta y trazabilidad de las mediciones, facilitando la generación automatizada de reportes técnicos conforme a la normativa de iluminancia vigente.

Los resultados evidencian que el prototipo propuesto mejora la precisión y consistencia de las mediciones fotométricas, reduce los tiempos operativos y optimiza el uso del recurso humano. Finalmente, el análisis de costos demuestra la viabilidad técnica y económica del sistema, concluyendo que la automatización del proceso representa una mejora sustancial en eficiencia operativa y calidad de los resultados obtenidos.

Palabras clave: automatización, fotometría, robot móvil, base de datos, luxómetro.

CAPÍTULO I
PROBLEMA DEL PROYECTO

El proyecto se desarrollará para la empresa LUMISENS donde se pretende solucionar una respuesta a un problema dentro de un proceso específico, por tanto, se busca explicar todo el planteamiento, desde los antecedentes, justificación, problema, objetivos, alcances y limitaciones, lo que permitirá tener un mejor panorama general del problema y los aspectos asociados a la planificación de este, sobre estos aspectos se describen en el presente capítulo.

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Sobre los antecedentes y justificación que se evalúan para indicar la importancia del proyecto para la empresa LUMISENS, S.A. y dar a conocer la estructura que posee la empresa, lo cual permitirá entender los alcances y limitaciones.

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa

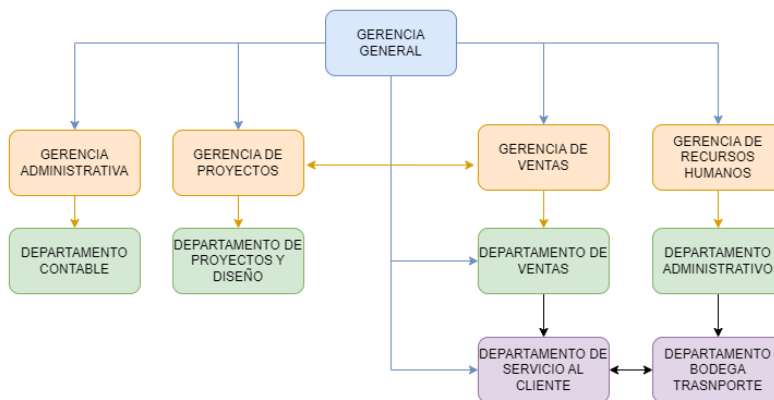
LUMISEN, S.A. es una empresa fundada en 2010 (LUMISENS, S.A., 2021) la cual se encuentra ubicada en San Jose, Pavas y se dedica a ofrecer asesoría de iluminación y venta de luminarias de alta potencia, importando alternativas de alta potencia en tecnología LED directamente de fábrica con altos estándares de calidad para resolver necesidades de iluminación de múltiples sectores en aplicaciones tanto internas como externas, dentro del sector de iluminación es una empresa líder en los servicios que ofrece, los cuales puntualizamos:

- ✓ Asesoría de iluminación realizando fotometrías y análisis de cumplimientos basados en normas según INTECO.
- ✓ Diseño de iluminación por medio del software DIALux Evo.
- ✓ Venta de luminarias y lámparas LED con certificaciones internacionales.
- ✓ Instalación de luminarias en espacios interiores y exteriores.

Por lo que automatizar el proceso de medición de fotometría es de gran importancia para mejorar los servicios en calidad y tiempo. La empresa LUMISENS, S.A., actualmente posee una estructura organizacional mostrada en la Figura 1.

Figura 1

Organigrama de la institución



Fuente: De información obtenida del contacto de la empresa (Tsang, 2021)

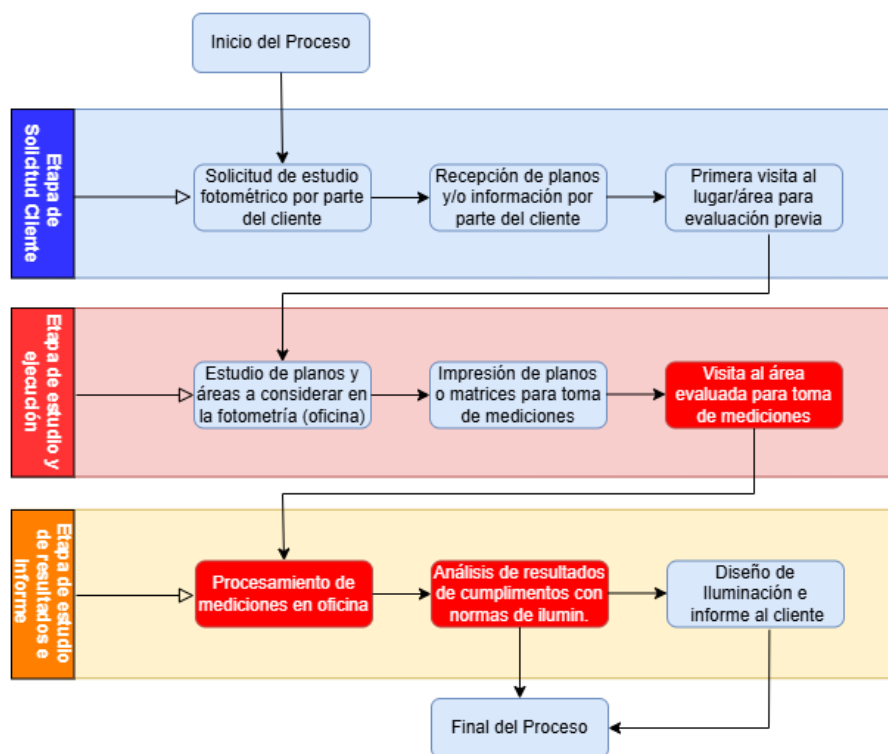
En general LUMISENS, S.A. es una empresa dedicada a ofrecer soluciones de servicios de auditoría en iluminación muy enfocado al área industrial, solucionando los requerimientos de iluminación que demandan sus clientes, el objetivo principal de la empresa es la venta de las luminarias, sin embargo para poder realizarlo se debe hacer una pre venta donde intervienen muchos procesos previamente y uno de esos procesos es la toma de mediciones de un área específica realizando una evaluación técnica del sistema de iluminación de la empresa en estudio para fundamentar los costos del proyecto (LUMISENS, S.A., 2021).

Como parte de la estructura y lo que se desea ofrecer de servicio a sus clientes, la empresa LUMISENS ha definido como misión y visión lo que se describe a continuación:

- Misión: ofrecer a sus clientes soluciones de iluminación de última tecnología con la mejor calidad y respaldo acompañado de un desarrollo técnico que fundamente su inversión.
- Visión: ser la empresa líder en la venta de productos y servicios de iluminación, poniendo a disposición de sus clientes el gran conocimiento que ha adquirido en más de 15 años de experiencia en el mundo de la iluminación y así resolver las necesidades de los clientes con la mayor efectividad y al menor costo (LUMISENS, S.A., 2021).

La empresa LUMISENS, S.A. tiene una estructura empresarial la cual se basa en servicios de venta de productos de luminarias LED, cuenta con un Gerente General, un Gerente de Ventas, un Gerente de Proyectos, técnicos especializados en electrónica y electricidad y un equipo de ventas especializado en la comercialización de los productos (LUMISENS, S.A., 2021).

En la Figura 2 se muestra un diagrama de procesos lo que ilustra como opera la empresa en el desarrollo de sus servicios.

Figura 2*Diagrama de procesos*

Fuente: De información obtenida del contacto de la empresa (Ulate Araya, 2024)

En el mismo diagrama se ha diferenciado el área en color rojo del proceso que será beneficiado de la automatización, como se observa en el diagrama actualmente el proceso se realiza de manera manual, desplazando el luxómetro por medio de un trípode en algunas ocasiones o posicionándolo en superficies planas y realizando la toma de datos fotométricos por medio de una fotografía o mediante forma escrita en un plano o cuaderno de dibujo.

Parte fundamental en los procesos productivos en industria, comercio, entretenimiento lo constituye la iluminación natural y artificial, esta última permite realizar labores de diferentes índoles en la ausencia de luz natural, permitiendo realizar labores continuas en las áreas de

producción y ofrecer un sinfín de facilidades de aprovechamiento de la mayor cantidad de horas del día a día (PLEUS, 2023).

Es importante definir los valores de iluminancia que se debe tener para realizar diferentes actividades que demanda un área específica como por ejemplo un proceso productivo, según INTECO (2016) las áreas generales de edificaciones deben cumplir los valores que se reflejan en la Tabla 1.

Tabla 1

Valores Fotométricos.

Tipo de interior, tarea o actividad	Emlux	CUDL	Ra
Vestíbulos de entrada	100	22	60
Salas de estar	200	22	80
Áreas de circulación y pasillos	100	28	40
Escaleras, escaleras mecánicas y bandas transportadoras (de personas)	150	25	40
Rampas/zonas de carga	150	25	40
Comedores	200	22	80
Áreas de descanso	100	22	80
Salas para ejercicios físicos	300	22	80
Guardarropas, cuartos de aseo, baños, tocadores	200	25	80
Enfermerías	500	19	80
Sala de atención médica	500	16	90

Fuente: De información obtenida de INTECO (2016)

Los datos de la tabla anterior define los valores de iluminación que deben cumplir ciertas áreas en las cuales se realizan actividades que pueden ser en horarios diurnos o en horarios nocturnos como por ejemplo un comercio, un área deportiva, un área de entretenimiento, áreas de transportes, áreas de salud, etc. y donde definir la cantidad de iluminación que deba tener para las labores a realizar solo se pueden obtener con un instrumento llamado luxómetro que puede medir la iluminación de un área y definir los valores de iluminancia necesarios para realizar la labor a ejecutar y que conlleve dos importantes aspectos como lo son la seguridad y la productividad.

1.1.2 Justificación del proyecto

De acuerdo con lo explicado anteriormente, los criterios en los que se ha fundamentado la automatización de un sistema de medición fotométrico para resolver los compromisos con los clientes y que el proceso sea más eficiente, es importante para la empresa LUMISENS por los siguientes motivos:

- 1- La reducción de tiempos de ejecución de los pasos que tiene una toma de mediciones fotométricas: al realizarse la toma de medidas fotométricas con sistemas manuales tanto los tiempos de toma de mediciones como de procesamiento de datos es muy extenso e inexacto (LUMISENS, S.A., 2021) por lo que se proyecta reducir hasta un 50% esos tiempos de ejecución que van desde la toma de mediciones hasta el informe de resultados generando información automática de un listado de datos de esas medidas, como también poder definir bitácoras o bases de datos donde se pueda visualizar el valor medido de iluminancia como también el día, la hora y la temperatura ambiente del área medida.
- 2- Ofrecer un mejor servicio a los clientes en cuanto a los resultados finales de la toma de mediciones: como los datos que se obtienen en la actualidad son de forma manual y donde

la información se recolecta de forma tal que se escribe en un sustrato y la toma de esa medida debe ser cercana por lo que los datos se pueden alterar por la sombra que realiza la persona que toma las mediciones o bien no ser bien recopilado la información según se muestra en la Figura 3 (Ulate Araya, 2024).

- 3- Cuando se mide un área muy extensa como un campo de fútbol: donde se deben recolectar muchas mediciones, los cuales, en ocasiones se realizan mediciones previas para obtener un valor de datos de la situación actual y después se deba realizar otra toma de mediciones para evaluar la ganancia de iluminación en un escenario de reemplazo de luminarias. Es importante mantener los mismos puntos de toma de medidas para darle fiabilidad a la ganancia de luxes donde se consideren tanto la situación de iluminancia vertical y horizontal “Horizontal measurements were taken at 1m height from field and The “Fixed Camera” measurements were taken at 1m height at 30 degrees above the horizon at fourth cardinal points” (Ortega Castillo & Vega Masís, 2020, p. 8).
- 4- Criterios económicos: La empresa LUMISENS, S.A. ha detectado un gasto excesivo en los tiempos de ejecución en el proceso de toma de datos en las fotometrías por lo que genera mayor inversión de mano de obra, por tanto, automatizar el proceso generaría una gran reducción de tiempo en mano de obra y así, reducir costos en la inversión de personal con la automatización propuesta.

En síntesis, el análisis de los antecedentes y la justificación del proyecto permite evidenciar que la automatización del proceso de medición fotométrica representa una oportunidad estratégica para la empresa LUMISENS, S.A., al responder de manera directa a una necesidad operativa crítica dentro de su cadena de valor. El proceso actual de toma de mediciones, al realizarse de forma manual, implica altos tiempos de ejecución, posibles imprecisiones en la recolección de

datos y un uso intensivo de recursos humanos, factores que impactan tanto la eficiencia interna como la calidad del servicio ofrecido a los clientes.

La implementación de un sistema automatizado permitirá optimizar significativamente los tiempos de medición y procesamiento de datos, mejorar la confiabilidad y trazabilidad de la información fotométrica, así como garantizar la repetibilidad de los puntos de medición en evaluaciones comparativas. Lo anterior no solo fortalecerá el respaldo técnico de los proyectos de iluminación desarrollados por la empresa, sino que también incrementará la seguridad, la productividad y el cumplimiento normativo en los espacios evaluados, conforme a los lineamientos establecidos por INTECO (2016).

Asimismo, el proyecto tendrá un impacto positivo a nivel económico y operativo, al reducir los costos asociados a la mano de obra y minimizar los riesgos de error humano, contribuyendo a una toma de decisiones más precisa durante las etapas de preventa y ejecución de proyectos. En este contexto, el desarrollo propuesto se alinea con la misión y visión de LUMISENS, S.A. (2021), al integrar innovación tecnológica y desarrollo técnico como pilares fundamentales para ofrecer soluciones de iluminación de alta calidad y valor agregado.

Por lo tanto, este apartado sienta las bases conceptuales y contextuales necesarias para comprender la relevancia del proyecto, su viabilidad y su impacto dentro de la organización, estableciendo un marco sólido para el desarrollo de las secciones posteriores, en los cuales se abordará el diseño, alcance y ejecución de la solución propuesta.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según el proceso explicado en el punto anterior, específicamente se trabajará el área para automatizar la toma de mediciones fotométricas, recolección de datos y procesamiento de datos, actualmente todas esas actividades son realizadas de manera manual, desde la captura de datos, hasta la generación de los informes de análisis, lo cual está generando inconvenientes como:

- Poca asertividad en la recolección de las mediciones fotométricas.
- Posible pérdida de información por la forma de recolección de datos.
- Atrasos en los informes a entregar a los clientes.
- Costos de mano de obra por la lentitud que genera el proceso actual.

En la Figura 3 se muestra cómo se comporta la sombra que genera el luxómetro cuando hay presencia de una persona o un objeto, la imagen a la izquierda muestra el luxómetro donde detecta 560 luxes (Ulate Araya, 2024), pero al estar presente un objeto cerca como en este caso una persona los niveles de iluminación que detecta el luxómetro son de 201 luxes como se muestra en la parte derecha de la imagen por lo que se genera una diferencia de 359 luxes, alrededor de 278% de alteración.

Figura 3

Fotometría realizada en la empresa Desinid ubicada en Alajuela.



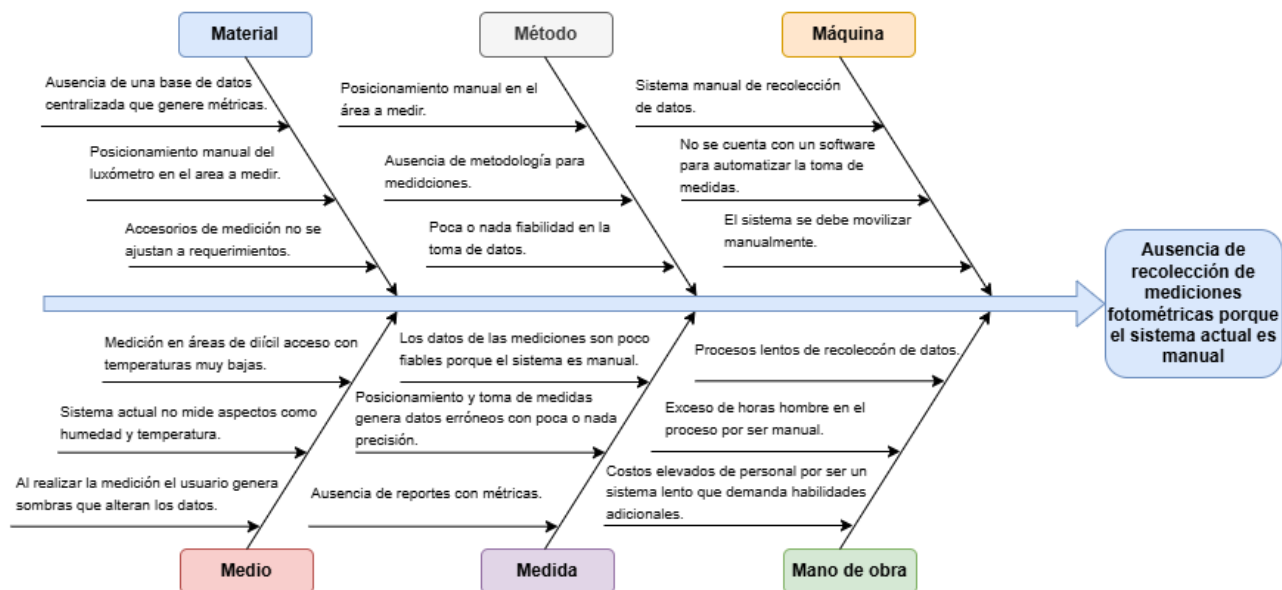
Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se aprecia en la Figura 3 aparte de generar sombras y gran pérdida de información por más de un 278% por la sombra generada de la persona que recolecta la información de la medida fotométrica, también se aprecia que el sistema de movilidad del luxómetro es totalmente manual, según los trabajadores de la empresa LUMISENS, S.A. indican que el trípode usado es una adaptación donde el luxómetro no cuenta con un sistema de sujeción y solo se puede realizar mediciones de forma horizontal.

Basado en lo anterior la empresa LUMISENS, S.A. ha decidido automatizar el luxómetro y así evitar los errores del sistema actual según lo explicado anteriormente, para comprender mejor la problemática, en la Figura 4 se plantea el diagrama de espina de pescado (Lilliana, 2016).

Figura 4

Diagrama de causa-efecto del problema.



Fuente: De información obtenida del contacto de la empresa (Dumas, 2018)

Después del análisis realizado en el diagrama de espina de pescado se logra identificar 3 causas para cada clasificación, evidentemente las 6M's (Dumas, 2018) permite hacer una mejor evaluación de las consideraciones que se deben tener a la hora de evaluar el proyecto, por lo que se explica a detalle el uso del diagrama causa-efecto (Dumas, 2018) mediante un diagrama de Ishikawa (Lilliana, 2016).

- 1- **Máquina:** Esta M posee enfoques tecnológicos y de equipamiento por lo que se determinó que el sistema de recolección de la información es manual, el equipo que se utiliza para realizar las mediciones (Luxómetro) no posee un sistema de desplazamiento y la recolección de la información altera los resultados de la fotometría, careciendo de fiabilidad en los datos recolectados.

- 2- Método: Para esta M, el sistema actual no cuenta con parámetros de mediciones, tampoco cuenta con ninguna metodología para mediciones, no existe un software que dé funcionalidad automática al sistema, por lo que el almacenamiento de los datos en la mayoría de los casos se pierde al no estar almacenados ya que la información es recabada de forma manual y no hay un sistema de almacenamiento automático de los datos.
- 3- Material: El equipo con el que se realiza la toma de mediciones es de manipulación manual, el desplazamiento debe hacerse por el usuario, no hay forma de desplazarlo automáticamente por lo que al momento de realizar la toma de la medida de la iluminancia se produce una sombra que altera la medición fotométrica, el sistema actual que realiza esa labor se conoce como luxómetro y según Rojas (2022) describe su funcionalidad a continuación:

Es un instrumento diseñado para medir el brillo en lux, fc o cd / m^2 , los medidores de lux poseen filtros correctivos especiales, que hacen que la sensibilidad del elemento fotográfico del medidor de lux sea más cercana y similar a la sensibilidad del ojo humano (GmbH, 2020). Un medidor de iluminancia o luxómetro es un instrumento que permite medir la cantidad de luz visible que incide sobre una determinada superficie; por ejemplo, el nivel de iluminación que se tiene en un plano de trabajo. (p.27)

- 4- Medio: En esta clasificación es importante evaluar las condiciones del medio ambiente donde se va a realizar la fotometría ya que dependiendo de ese aspecto se podría ver afectados los datos y el sistema actual no cuenta con sensores que den lectura como la humedad y temperatura, por ejemplo: empresas de industria cárnica donde hay ambientes muy húmedos y cuartos de congelados.

- 5- Medida: Las causas que obedecen a esta M es prácticamente una de las más importantes por las que se decide realizar el proyecto, por cuanto las medidas fotométricas obtenidas y que no están siendo bien procesadas podría definir errores en los resultados finales al diseñar un sistema de iluminación que no cumpla con el objetivo propuesto, instalando los equipos incorrectamente.
- 6- Mano de obra: Para esta M, las causas que definen el problema de mano de obra radican directamente en el exceso de horas hombre que se da al servicio de la asesoría por ser un proceso manual, y al obtener los datos de la fotometría con instrumentos poco fiables por no contar con un sistema automatizado hace lento y de costos excesivos el desarrollo de las multitareas que demanda el servicio.

De manera que se busca automatizar y medir que los errores disminuyan y que el sistema sea más eficiente por lo que se planifica realizar un proceso del diseño y la implementación de la automatización en cuanto al hardware y software tal como se plantea en la pregunta:

¿Cómo diseñar e implementar un sistema electrónico automatizado que permita realizar mediciones fotométricas movilizándose a través de un robot, procesando y almacenando los datos obtenidos en una base de datos?

Tomando como base la problemática identificada mediante el diagrama de Ishikawa, en el cual se analizan las causas y efectos asociados a cada una de las 6M, así como la formulación de la pregunta de investigación, se establecen a continuación los objetivos que servirán como guía general para el desarrollo del presente proyecto.

1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1 Objetivo general

El siguiente corresponde al objetivo general del proyecto:

Desarrollar un prototipo de luxómetro automatizado que integre un sistema de movilidad robótica, con la capacidad de realizar mediciones de iluminación, procesar los datos obtenidos y almacenarlos en una base de datos.

1.3.2 Objetivos específicos

Se proponen los siguientes objetivos específicos del proyecto:

1. Realizar análisis del sistema actual estableciendo los criterios de diseño que permita el análisis de resultado final.
2. Estudiar soluciones de tecnologías que implementen un luxómetro móvil o autónomo para el estudio de la solución en desarrollo.
3. Realizar un estudio con instrumentos de extracción de datos metodológicos con las diferentes partes interesadas que permita la determinación de la brecha.
4. Construir la infraestructura del robot que dará movilidad al sistema la cual podría consistir en un chasis liviano de 200 x 300 mm elaborado en acrílico o PVC y con 4 ruedas donde se montaran los elementos necesarios como motores, sensores, controladores, entre otros.
5. Diseñar el prototipo a nivel de hardware y software que brindará solución al problema definido, incorporando accesorios al sistema como sensores de humedad y temperatura, de detección de movimiento, accesorios de visualización en tiempo real (pantalla), cámara fotográfica, entre otros.
6. Implementar el prototipo diseñado realizando las respectivas pruebas que garanticen su correcto funcionamiento, utilizando diferentes escenarios.
7. Determinar los costos y beneficios asociados a la implementación del sistema de automatización que brinde una solución acorde con el problema definido.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

Para el desarrollo del sistema considerando los alcances que se trazan para la solución del problema previamente definido del proyecto a realizar, se enumeran a continuación:

- 1- Construcción de un robot: para el desarrollo del sistema se debe contar con un robot de 4 ruedas para desplazarlo el cual se pretende realizarle una base (chasis) donde se instalen las ruedas y los motores que movilizarán al sistema y luego otra estructura a una altura de 80 cms. (tipo plataforma) donde se montará el sensor de luz, de acuerdo con Ramos et al. (2010) las ruedas a utilizar son de tipo RMR por lo que no podrán pasar grandes obstáculos y donde el diseño de las llantas en cuanto al radio debe tomarse muy en cuenta, también es importante considerar el sistema cinemático y el sistema de actuadores.
- 2- Análisis de tecnologías: se evalúan diferentes tecnologías que puedan ser funcionales y que reúnan los elementos tanto de hardware como software que puedan generar la comunicación y hacer el proyecto funcional respondiendo a las necesidades que requiere el alcance del proyecto.
- 3- Sobre los sensores: Al ser el principal objetivo del proyecto la generación de una automatización de medición de la iluminación, escoger el sensor que más se ajuste a los requerimientos es una de las partes más importantes en los alcances, sin embargo, se requieren incorporar otro tipo de sensores de medición como de humedad y temperatura (LAIN HOLDING SOLUCIONES, 2024), sensores que determinen objetos para que el sistema pueda detenerse y donde esos sensores se puedan interconectar con sistemas IOT.
- 4- Análisis de sistema de almacenamiento: para almacenar las mediciones recabadas se pretende incorporar al proyecto una base de datos como repositorio para mantener los

registros de datos de manera organizada por lo que permitirá realizar consultas inmediatas de manera automatizada con solo conectarse al sistema (Astera, 2025), dentro de las posibles DB a utilizar podrían mencionarse las siguientes:

- a) Microsoft: SQL, SQL Express (Gratuita, con limitante 10GB)
 - b) Oracle: Oracle, MariaDB (Gratuita)
 - c) SAP: Hana
- 5- Análisis de sistema de control: para generar el control de activación del sistema se analiza integrar un sistema de control por medio de una aplicación celular que active el sensor de iluminación a usar para que realice la medida fotométrica y a su vez movilice el sistema.
- 6- Análisis de sistema de visualización: para visualizar los datos de las mediciones fotométricas se estima generarlos por medio de una pantalla LCD (ORIENT DISPLAY, 2022) y se puedan desplegar en tiempo real, pero también se pueda visualizar datos por medio de una interfaz gráfica y dashboards (Chanchí Golondrino, Ospina Alarcón, & Campo Muñoz, 2020) que se integren por medio de alguna página web.

1.4.2 Limitaciones

Luego del análisis de los alcances del proyecto se analizan posibles limitaciones que podrían dificultar los objetivos propuestos en cuanto al desarrollo del sistema a implementar:

- 1- Servicios de asesoría de iluminación no remunerados: actualmente una asesoría en iluminación no es remunerada económicamente como un servicio específico, se incorpora dentro de un servicio general que al final se refleja en la venta del proyecto de renovación de la iluminación o venta del producto, por lo que se vuelve una limitación ya que no se tiene una estimación económica directa de la solución al problema que el sistema va a generar.

- 2- Tecnología utilizada en la empresa: por lo general el instrumento de uso para realizar las medidas fotométricas es un luxómetro que, aunque su uso es manual es la solución inmediata a un bajo costo, evidentemente implementar un sistema automatizado se convierte en una inversión de carácter económico que podría presentarse como una limitación al proyecto.
- 3- Construcción del robot: para movilizar el sensor de iluminación (Casadiego López & Barbieri, 2019) que se requiere implementar se pretende usar un robot de 4 ruedas, pero el sensor se debe elevar a una altura de 80 centímetros (Stabilit, 2024) sobre el nivel del suelo, por lo que al no tener todos los componentes en una misma ubicación en el montaje físico podría generarse algún problema como caída de tensión.
- 4- Equipos de medición de luz no compatibles con los sistemas IOT: los luxómetros de uso general no cuentan con un sistema de descarga de datos a una computadora como un cable de USB (Stabilit, 2024) y los que si lo tienen son muy costosos y no se cuenta con información del tipo de comunicación que tienen, por lo que se debe evaluar otro tipo de sensores que puedan ser más versátiles y se puedan integrar fácilmente con la tecnología a seleccionar y trabajen con los sistemas IOT.
- 5- Servicio de internet disponible: para movilizar y activar el sistema e implementar los alcances previamente definidos se requiere de un servicio de internet que permita la comunicación con los sensores (Revista Virtual, Universidad Católica del Norte, 2017), bases de datos y apps de control por lo que podría limitar el uso del dispositivo en algunas áreas, o bien dependa de un punto de acceso tipo hotspot para su correcto funcionamiento.
- 6- Capacitación del personal que utilizará el sistema: al automatizar un sistema se debe capacitar a los usuarios y como intervienen conceptos de manejo de software y hardware

limitaría a ciertos usuarios al manejo del equipo ya que la persona a operarlo debe contar con algún conocimiento básico en programación por lo que este aspecto podría limitar la operación del sistema.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

La sección contempla tres grandes apartados que pretenden brindar profundidad sobre los diferentes enfoques que puede tener un proyecto para la automatización de medición de luxes, lo cual se logra a través de un contexto histórico, una serie de elementos que brinda teorías a partir de investigaciones del mercado para la implementación requerida, para ofrecer un contexto más real y actual para el proyecto en referencia, a continuación, el detalle de cada uno de estos elementos.

2.1 Contexto histórico

Teniendo en cuenta la necesidad de implementar la automatización de un sistema automático de medición de luxes se hace necesario conocer cómo se realizaba esta labor en el pasado. A partir de la invención de la bombilla eléctrica y el crecimiento industrial se vuelve necesario medir la luz, este es el caso de la industria cinematográfica, según McGowan (2017) afirma:

Desde la aparición de la fotografía se buscaron métodos que permitieran evaluar la cantidad de luz para así poder determinar el tiempo de exposición, pero dado que durante la mayor parte del siglo diecinueve muchas emulsiones eran de fabricación casera y de muy baja sensibilidad, no existían métodos viables para realizar estos cálculos. Cuando se realizó una estandarización de los materiales fotográficos y disminuyeron los tiempos de exposición, conocer ésta adquirió una importancia creciente. (pág. 373)

Siendo que en el siglo XX surge esa misma necesidad, la de medir la luz con precisión, el cual fue imprescindible para el desarrollo de iluminación artificial, lográndose estas mejoras en los siguientes grandes momentos de la historia de la iluminación:

- Los primeros patrones de intensidad de la luz fueron las velas de parafina, generando así el nombre de la unidad de candela (cd), a medida que surgen otras fuentes de luz artificial como las lámparas de aceite, gas, entre otras, se estabiliza aún más la unidad de medida.
- Las primeras lámparas en ser evaluadas a nivel de un laboratorio eran de aceite de colza.
- En 1900 se realizó un estudio fotométrico, sin embargo, presentó muchas inconsistencias al ser comparado por otros investigadores.
- En 1909 se definió la Candela Internacional a partir de una lámpara de filamento de carbón.

Producto de lo anterior se logra definir el concepto de candela, a saber, que “... es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite radiación monocromática de 540×10^{12} Hz de frecuencia y cuya intensidad energética en esa dirección es de $1/683 \text{ Wsr}^{-1}$ ” (Midebien, 2016).

Posterior a todos los eventos descritos donde se realizaba un proceso manual de medición de la intensidad de la luz, es en la década de 1960 donde se construye los primeros luxómetros digitales el cual transforma la energía lumínica en voltaje, mediante la utilización de un fotodiodo BPW21 (Martínez Bohórquez, 2011), que procesaba la señal mediante un microcontrolador como dispositivo para controlar la selección automática, conversión analógica/digital para ser presentado en una pantalla LCD, lo anterior se ilustra en la Figura 5, dejando claro el proceso que se utilizaba desde entonces.

Figura 5

Primeros Luxómetros



Fuente: De información obtenida de sitio web (Copyright © 2000-2024 Dreamstime., 2024)

Lo anterior deja claro la evolución que ha presentado la forma de medir intensidad de la luz, donde la electrónica en la actualidad ha resultado ser una herramienta fundamental para lograr mayor precisión y la facilidad de uso del usuario final, por tal motivo en la siguiente sección se presenta una serie de análisis de implementaciones realizadas a través del mundo que ejemplifican diferentes maneras de lograr mejorar la implementación de un dispositivo electrónico que permita realizar fotometrías y procesamiento de las mediciones almacenándose las mediciones en una base de datos.

2.2 Contexto teórico

El desarrollo del luxómetro requerido que permita resolver la problemática planteada en el capítulo I demanda conocer algunos temas de relevancia que permitan valorar la implementación de nuevas características tales como:

- Tecnologías de control
- Notificaciones
- Autonomía de alimentación
- Transporte automatizado
- Interfaz de usuario
- Almacenamiento de datos
- Sensores
- Lenguajes de programación.

Para el análisis de cada uno de estos elementos se realiza una investigación bibliográfica y en los siguientes apartados se detalla cada aspecto:

- Tecnologías de control

La iluminación artificial es importante no solo para iluminar áreas de trabajo, en el hogar, entretenimiento, sino que es muy usada en la medicina, según Párraga (2022) quien realiza un luxómetro para utilizarlo en el área de salud, específicamente para endoscopía y por medio de un fotodiodo Vishay BPW34 el cual tiene un rango de 480nm a 1100 nm y abarca el espectro visible para el ser humano teniendo en cuenta la temperatura del color que utilizan las fuentes de luz destinadas para la endoscopía. La tecnología usada es un microcontrolador Arduino Nano donde se programa la interfaz de usuario por medio del IDE, utiliza amplificadores operacionales en la etapa ADC y para visualizar la información la cual la despliega por medio de una pantalla LCD 20x4.

El proyecto realizado por Párraga (2022) presenta características que mostramos a continuación:

- ✓ Lenguaje de programación: C++
- ✓ Visualización de información: Pantalla LCD 20x4
- ✓ Librerías: LiquidCrystal.h / Wire.h
- ✓ Gráficos: No
- ✓ Almacenamiento de Datos: No
- ✓ Interfaz web: No
- ✓ Autonomía en movilidad: Si

Otro dispositivo importante a considerar es el microprocesador Raspberry Pi ya que de acuerdo con Gonzáles y Salcedo (2017) el cual realizan un sistema de monitoreo para prevenir robos en centros de comercio, utilizan un sistema realizado con Raspberry Pi, una cámara y un sensor tipo PIR HC-SR501, la implementación requiere de notificaciones vía correo electrónico cuando el sistema se activa por lo que el microprocesador permite el envío de una imagen del intruso por medio del sistema de comunicación SMTP se utilizó una cámara de 5 megapíxeles que soporta video en resolución 1080p (1920 x 1280 píxeles) a 30 cuadros por segundo, 720p (1280 x 720 píxeles) a 60 cuadros por segundo y VGA (640 x 480 píxeles) a 90 cuadros por segundo, conectada en el puerto CSI por medio de un cable de tipo ribbon. La Raspberry Pi 2 soporta los sistemas operativos Raspbian, Arch Linux, Pidora y Minepeon. Para su instalación fue necesario descargar NOOBS el cual es un instalador del sistema operativo para la Raspberry Pi (pp. 176-182).

- Notificaciones

Los sistemas IoT Wi-Fi el cual permite diseñar dispositivos electrónicos que logre la comunicación en tiempo real realizando notificaciones a dispositivos electrónicos ya sea un

teléfono inteligente o una laptop. Actualmente existen infinidad de aplicaciones web que permiten realizar una interfaz donde se pueda visualizar esas notificaciones. Según Bahamonde (2020) estos sistemas poseen puertos alámbricos y/o inalámbricos para conexiones de redes LAN, estas aplicaciones son muy usadas en el desarrollo de la Industria 4.0 la cual trabaja de manera automatizada recabando datos sobre máquinas y procesos que coadyuvan a la eficiencia de los procesos minimizando los errores y maximizando la producción mejorando sustancialmente la calidad de sus productos o servicios, en la Figura 6 se representa una visualización de una industria automatizada:

Utilizar un sistema de notificaciones vía correo electrónico donde se puedan transferir imágenes por medio del sistema de comunicación SMTP utilizando el microprocesador Raspberry Pi, una cámara de 5 megapíxeles y un sensor PIR (Revista Virtual, Universidad Católica del Norte, 2017).

Figura 6

Proceso productivo en una industria 4.0



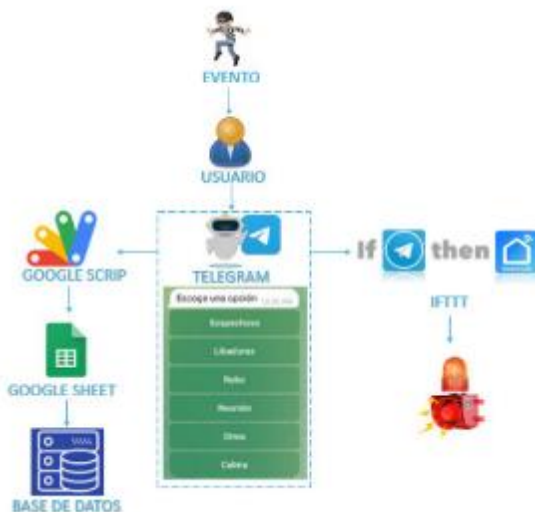
Fuente: información obtenida de (Bahamonde Chicaiza , 2020).

Por otra parte, la implementación realizada por Bahamonde (2020) utiliza sensores de temperatura y humedad, sensores de humo e incendio, de movimiento y de accesos a la empresa, la comunicación la realiza por medio de la plataforma Home Assistant la cual es una plataforma de código abierto que permite automatizar diferentes elementos o marcas desarrolladas por Python.

Las notificaciones bien aplicadas y al ser configuradas con sistemas de domótica y aplicaciones móviles se logra crear sistemas de seguridad los cuales pueden emitir notificaciones en tiempo real, este es el caso de Freire et al (2024) el cual crean un sistema de seguridad barrial que por medio de la plataforma Telegram sincronizando con sistemas IFTTT y Smart Life ofrecen una comunicación de incidentes a residentes de alguna área o comunidad en Latacunga, Ecuador. Como se mencionó anteriormente, el sistema cuenta con la aplicación Telegram el cual por medio de un Bot se logra crear una personalización de comunicación de alertas y por su compatibilidad con sistemas Android e IOs mediante un dispositivo Smart switch se logra realizar una interfaz intuitiva con botones específicos de acuerdo con cada alerta previamente definida, en la Figura 7 se puede ver un esquema del sistema de alarma domótica.

Figura 7

Esquema de sistema de alarma



Fuente: información obtenida de Freire et al (2024)

- Autonomía de alimentación

La alimentación de la energía en un sistema automatizado convierte al proyecto en todo un reto, más cuando el sistema es móvil por lo que energizarlo y que cuente con suficientes horas de autonomía es parte fundamental, por lo que es imprescindible dar una solución viable a la fuente de energía a utilizar, por tanto, debe hacerse una investigación muy rigurosa de los avances tecnológicos en materia de almacenamiento de la energía.

De acuerdo con lo indicado por Vera et al. (2018) las primeras baterías recargables datan del año 1859 fueron inventadas por el físico francés Gastón Planté. La batería de plomo-acido recargable fue la primera batería y que actualmente existe. Cabe destacar la importancia en conocer el concepto teórico de la batería recargable el cual describe Vera et al (2018) como: “Dispositivo electroquímico que almacena energía en forma química. Cuando se conecta a un circuito eléctrico, la energía química se transforma en energía eléctrica”.

La movilidad del sistema requiere de alimentación de energía con aplicaciones que no dependan de una conexión a una red eléctrica, por lo que se sugiere baterías de larga vida útil y que mantengan al sistema autónomo al menos 1 hora, algunos robots por su aplicación necesitan de sistemas de baterías de alta eficacia, este el caso de los robots submarinos según Alcaraz Carrasco, et al. (2022) la exploración al fondo marino o se puede realizar de forma física por la presión y temperatura del agua y que la visibilidad es poca o nula, por lo que existen diferentes tipos de robots que logran llegar a esas profundidades los cuales pueden ser tripulados o no tripulados, estos robots usan baterías de litio e ion-litio-polímero las cuales pueden recorrer 20 millas y mantener 6 horas de autonomía, en la Figura 8 se puede visualizar al submarino al ROVSeaotter el cual usa GPS, sonar, sensores de presión y temperatura, cámaras delanteras y traseras, en fin, está equipado para realizar diferentes tareas de investigación.

Figura 8

Zenbo: androide asistente a personas



Fuente: información obtenida de Alcaraz Carrasco, et al. (2022)

Si bien es cierto existen muchos tipos de baterías siendo las primeras baterías las de plomo ácido las más antiguas según Artal Sevil et al. (2014) este tipo de baterías son muy seguras y proporcionan densidades de energía entre 30-50Wh/Kg. con una vida útil bastante larga, sin embargo, son muy pesadas y con gran volumen.

Según Artal Sevil et al. (2014) actualmente la tecnología de baterías para equipos portátiles como ordenadores portátiles, asistentes digitales personales utilizan baterías de níquel-cadmio (NiCd) se usan en aplicaciones recargables, donde se requiere alta corriente, poseen alta densidad de energía con grandes ciclos de descarga.

Otro tipo de baterías de níquel metal-hidruro (NiMH) no contienen metales pesados como plomo, cadmio, litio o mercurio por lo que se puede decir ayudan al sistema medio ambiental, su corriente de fuga es más alta que la mayoría de las tecnologías por esta razón no se recomiendan para almacenar energía en periodos largos de tiempo Artal Sevil et al. (2014).

De acuerdo con Artal Sevil et al. (2014) las baterías de Litio-ion son más costosas que las otras tecnologías ya que tienen mayor cantidad de densidad de energía, tanto el peso como la relación de descarga la cual es más baja y deben ser cargadas con mayor cuidado. La Tabla 2 muestra datos comparativos de distintos tipos de baterías, se puede apreciar diferencias y significativas en las densidades de potencia y energía entre las diferentes tecnologías.

Tabla 2*Comparación de tipos de baterías*

Tipo de batería	Densidad de potencia (W/Kg.)	Densidad de energía (Wh/Kg.)	Número de ciclos
Acido de plomo	200	30-50	200-1000
Ni-Cd	190	40-50	500-1000
Ni-MH	180	50-60	500-1000
Li-Ion	800	130	1200
Ag-Cd	100-250	60-100	300-500
Al-Air	500-600	350	N/A

Fuente: información obtenida de Artal Sevil et al. (2014)

La Tabla 2 presenta una comparación entre distintos tipos de baterías, considerando tres parámetros técnicos clave: densidad de potencia (W/kg), densidad de energía (Wh/kg) y número de ciclos de carga y descarga. Estos criterios permiten evaluar el desempeño, eficiencia y vida útil de cada tecnología en aplicaciones prácticas.

Al analizar los datos, se observa que las baterías de ion-litio (Li-Ion) destaca significativamente frente a otras tecnologías tradicionales como las baterías de ácido de plomo, níquel-cadmio (Ni-Cd) y níquel-metal hidruro (Ni-MH). En términos de densidad de potencia, las baterías Li-Ion alcanzan valores aproximados de 800 W/kg, superando ampliamente a las baterías de ácido de plomo (200 W/kg) y Ni-Cd (190 W/kg), lo que las convierte en una opción idónea para aplicaciones que requieren altas demandas de potencia en espacios reducidos.

Asimismo, la densidad de energía de las baterías Li-Ion, con un valor cercano a 130 Wh/kg, es considerablemente mayor que la de las tecnologías convencionales, permitiendo almacenar una mayor cantidad de energía por unidad de peso. Esta característica resulta especialmente relevante en sistemas portátiles y autónomos, donde el peso y la eficiencia energética son factores determinantes.

En cuanto a la vida útil, expresada en número de ciclos, las baterías Li-Ion presentan aproximadamente 1200 ciclos, lo que evidencia una durabilidad superior frente a las baterías de ácido de plomo y comparable o superior a las tecnologías basadas en níquel. Este mayor número de ciclos contribuye a una reducción en costos de mantenimiento y reemplazo a largo plazo.

En conjunto, los resultados reflejados en la tabla permiten concluir que las baterías Li-Ion ofrecen un equilibrio óptimo entre alta potencia, elevada densidad energética y prolongada vida útil, posicionándose como una de las tecnologías más eficientes y versátiles para aplicaciones modernas que demandan confiabilidad, eficiencia y reducción de peso, como sistemas electrónicos, dispositivos autónomos y soluciones de automatización.

- Transporte automatizado

La automatización demanda que el dispositivo pueda movilizarse de forma autónoma alimentado por un sistema de almacenamiento tipo baterías y que pueda desplazarse hacia diferentes lugares ya sea por medio de coordenadas previamente definidas o se pueda dirigir en tiempo real, simulando a un robot, por lo que es importante investigar diferentes alternativas realizadas que puedan colaborar al desarrollo de la movilidad del sistema, de tal manera que se

pretende comprender como funciona un robot, según Dorador et al. (2004) indica que existen varias configuraciones de robots, esto depende del movimiento a realizar, por ejemplo: Pueden ser “cartesianos”, los cuales se mueven en línea recta y su volumen de trabajo es un prisma rectangular, los robots “cilíndricos” que se utiliza especialmente para ensamble, los esféricos y donde el volumen de trabajo es esférico y los industriales “brazos articulados” que simulan un brazo humano con amplios usos por la facilidad que tienen al realizar movimientos.

A medida que se obtiene por medio de la tecnología utilizando el internet y combinando la IA para poder desarrollar androides que es el caso de Zenbo, Moisés (2018) el cual es un robot capaz de cuidar personas, en la Figura 9 se puede apreciar como Zenbo asiste tanto a personas mayores como a niños.

Figura 9

Zenbo: androide asistente a personas

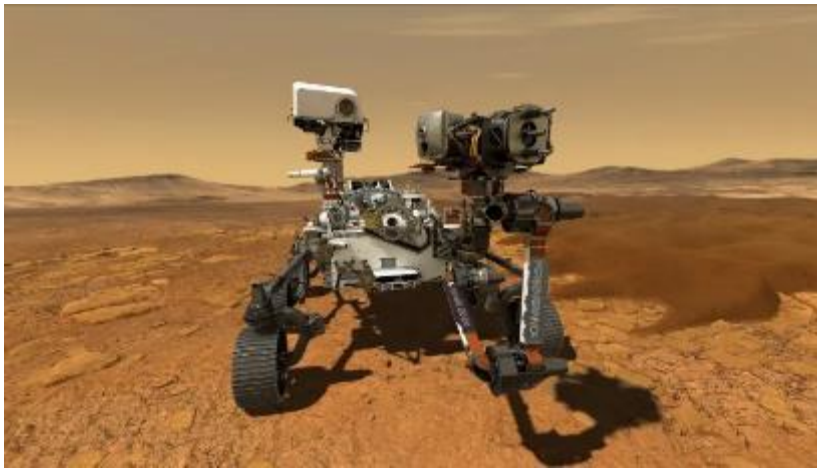


Fuente: De información obtenida de sitio web (HYBRID, 2016)

La robótica se convierte en la solución para explorar lugares en los que el ser humano no podría acceder como áreas sumamente tóxicas o exploraciones en el espacio, en la Figura 10 se puede ver al Rover Perseverance que aterrizó en el planeta Marte el 18 de febrero del 2021.

Figura 10

Rover Perseverance



Fuente: De información obtenida del sitio web (BBC NEWS MUNDO, 2021)

Este robot según Altamirano (2024) utiliza redes neuronales convolucionales para detectar objetos y segmentación semántica en tiempo real, las cámaras juegan un papel determinante para proporcionar imágenes del entorno de identificación de obstáculos, también utiliza sensores tipo LIDAR (Light Detection and Ranging) los cuales utilizan longitudes de onda entre 775 a 795 nm que pueden medir distancias con gran precisión. El Rover Perseverance cuenta con cinco elementos de especial importancia los que enumeramos a continuación:

- ✓ Sistema de visión
- ✓ Chasis
- ✓ Llantas
- ✓ Sistema de locomoción

- ✓ Brazo mecánico.

Estas son características de relevancia para que el sistema pueda recorrer terrenos con más de 30° de angulación.

- Interfaz de usuario

Sobre este tipo de dispositivos Chanchí et al (2020) explica que una forma de representar la información de manera amigable al usuario es mediante una interfaz gráfica creada en Python y con librerías especiales que representen la información en tiempo real y un conjunto de eventos con estampas de tiempo y valores estadísticos que permitan al usuario tener claridad de los datos medidos al mostrar la desviación estándar de los datos.

El desarrollo implementado por Chanchí et al (2020) posee las siguientes características:

- ✓ Lenguaje de programación: Python3
- ✓ Librerías: XChart de Java
- ✓ Gráficos: Si
- ✓ Datos estadísticos: Si
- ✓ Base de datos: No
- ✓ Interfaz web: No
- ✓ Autonomía en movilidad: No define

Luego otra implementación realizada por León (2007) desarrolló un dispositivo utilizando un microcontrolador pic y para representar los datos utilizó una pantalla LCD 16x2, de la cual se resalta que no posee integración con tecnologías IoT, sin embargo, tenía mucha facilidad porque su consumo era muy bajo con una capacidad de más de 500 horas de uso. Para describir con más detalle, se utilizó el fotodiodo BPW21y para ser procesada esta señal se utilizó el PIC

16F819, como dispositivo para controlar la selección automática, conversión analógica/digital de la pantalla LCD se muestra los conceptos importantes de iluminación donde se puede definir los valores principales que intervienen en las características eléctricas, fotométricas y cromáticas, también define muy bien la estructura por etapas, las conexiones y funcionamiento explicando el paso a paso, ilustra los diagramas eléctricos, utiliza un amplificador operacional LM358, un regulador de voltaje LM7805, Circuito Integrado 4016 (switch digital). En la última etapa describe el ensamblaje del equipo y la construcción, realiza una calibración y pruebas.

- Almacenamiento de datos

El almacenamiento de datos electrónicos precisa del manejo de una gran cantidad de información por lo que se requiere definir una estructura que permita almacenarla, acceder a ella, y manipularla tomando en cuenta medidas de seguridad de la información para garantizar la información frente a usuarios no autorizados.

El Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD) es el conjunto de programas que permite la creación y manipulación de una base de datos.

En la actualidad existen varios tipos de bases de datos y las más usadas son:

- ✓ MySQL.
- ✓ Oracle.
- ✓ Microsoft SQL Server.
- ✓ PostgreSQL.
- ✓ MongoDB
- ✓ DB2

De acuerdo con Lozano (2018) presentamos en la Tabla 3 algunas consideraciones de las bases de datos más utilizadas en el mercado:

Tabla 3

Comparación de tecnologías de almacenamiento de base de datos.

Base de datos	Ventajas	Desventajas
MySQL	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene una versión gratuita. ✓ Con multitud de interfaces de usuario. ✓ Compatibilidad con otras bases de datos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No hay soporte para la versión gratuita. ✓ Más tiempo de automatización de funciones que otros sistemas.
SQL Server	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rápido y estable. ✓ Ofrece gráficas y datos de rendimiento. ✓ Soporte para dispositivos móviles. ✓ Compatible con Microsoft 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alto costo. ✓ Consume muchos recursos, se requieren maquinas potentes. ✓ Problemas en tareas de mantenimiento de acuerdo con reportes de usuarios.
ORACLE	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mas innovación que las demás. ✓ Muy seguro y robusto con una gran cantidad de características disponibles. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alto costo ✓ Requiere de muchos recursos por lo que está diseñado para grandes empresas únicamente.
PostgreSQL	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporta terabytes de información. ✓ Soporta JASON ✓ Gran cantidad de funciones definidas. ✓ Multitud de interfaces disponible. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grandes dificultades ya que la información no es muy clara al ejecutar funciones. ✓ Configuración tediosa y complicada. ✓ Poca velocidad al momento de realizar consultas muy grandes.
DB2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eficaz de los recursos del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alto costo monetario. ✓ Depende de software de terceros para ejecutar algunas funciones.

✓ Ejecuta varias tareas al mismo tiempo.	✓ Soporte por 3 años, después de transcurrido ese tiempo hay que pagar.
✓ Códigos de error descriptivos que permiten la solución del problema en el menor tiempo.	

Fuente: De información obtenida del contacto (Lozano Banqueri, 2018)

- Sensores

Existen múltiples tipos de sensores que convierten la radiación solar en electricidad y que esa relación hace de uno de los elementos principales del desarrollo de la automatización, por tanto, se estudian diferentes propuestas que ayuden a definir la opción más conveniente.

Sobre los sensores indica León (2007) que el fotodiodo BPW21 trabaja en un rango visible del espectro electromagnético entre 320 a 820 nm con una respuesta relativa del 100% en 590 nm (color amarillo) por lo que se recomienda usar un filtro óptico que permita transformar cualquier color de luz a color amarillo (p. 80).

En cuanto a sensores de iluminación de alta sensibilidad indica Villavicencio (2017) que el sensor BH1750 utiliza un fotodetector y circuitos internos que proporcionan una salida digital, convirtiendo los cambios de luz en energía eléctrica devolviéndolos en unidades de lux, este sensor detecta una radiación electromagnética que emiten los seres vivos y algunos objetos, tiene interfaz I²C que permite configurarlo con diferentes microcontroladores (pp. 8-9).

Otro tipo de sensor de iluminación es el TSL2561 con un rango de medición de 1 a 40.000 lux operando en áreas con poca o mucha iluminación cuenta con interfaz I²C por lo que no requiere circuitos externos para el acondicionamiento de la señal, es bimodal y cuenta con dos fotodiodos, uno para luz visible y otro para luz infrarroja, opera bajo un voltaje de 2.7V a 3.3V, con una resolución de 16 bits (C&D Tecnología, 2024).

Los sensores de humedad y temperatura de la familia SHTC según Sendín (2021) indica que son de alta precisión, uno de los más precisos es el SHTC3 y utiliza la interfaz I²C ya que mide la humedad con un error del 2% y 0.2 °C el error de temperatura. (p. 25).

Luego de la revisión de las diferentes características que se considera posibles para implementar en un luxómetro en la Tabla 4 se realiza una comparación de las características valoradas de sensores evaluados.

Tabla 4

Cuadro comparativo de los sensores de iluminación.

Tipos de sensores	BPW21	BH1750	TSL2561
Tipo	Fotodiodo	Fototransistor	Fotodiodo
Voltaje de operación	5V	2.4-3.6V	2.7-3.6V
Consumo de corriente	0.17-30 nA	Activo: 180 μ A Reposo < 1 μ A	Activo: 0.6mA y 2.7 mA Reposo < 1 μ A
Temperatura de operación	-40°C a 80°C	-40°C a 85°C	-30°C a 70°C
Encapsulado	Si	Si	Si
Protocolo	Analógico	I ² C	I ² C
Rango de medición	0.01-100.000 lux	1-65.535 lux	0.4-40.000 lux
Precisión	Alta	Alta	Muy Alta
Sensibilidad	Alta dependiendo de longitud de onda	Alta	Alta
Costo	\$40.22	\$7.49	\$12.30

Fuente: De información obtenida del sitio web (SciELO, 2024).

Como se puede observar una de las características de la Tabla 4 es el protocolo de comunicación por tanto es una especificación técnica por contextualizar, en el siguiente apartado se estará definiendo los sensores que más se ajustan al proyecto.

- Lenguaje de programación

Los lenguajes de programación de alto nivel (Python Software Foundation., 2025) han revolucionado la industria electrónica, al igual que el componente electrónico mismo en cuanto a la comunicación y lo que se requiere hacer, es imprescindible en el desarrollo de las automatizaciones y los sistemas de domótica e IoT que se desarrolla en la actualidad, algunos de los lenguajes más usados por la industria son:

- ✓ Matlab
- ✓ Python
- ✓ JavaScript
- ✓ C++

Se evaluarán dos posibles opciones que podrían ser consideradas en la automatización.

Según Reyes (2012) el lenguaje de programación Matlab es un lenguaje de programación matemático de alto nivel con entorno gráfico, visualización de datos, funciones, graficas 2D y 3D, procesamiento de imágenes y video, desarrollo de algoritmos matemáticos por lo que se convierte en una herramienta muy poderosa para la ingeniería y las ciencias exactas, permite desarrollar interfaces para sistemas electrónicos como adquisición de datos con tarjetas electrónicas comerciales con plataformas de microprocesadores como DSP's, PIC's, FPGA's, manejo de puertos USB, COM (pp. 5-6).

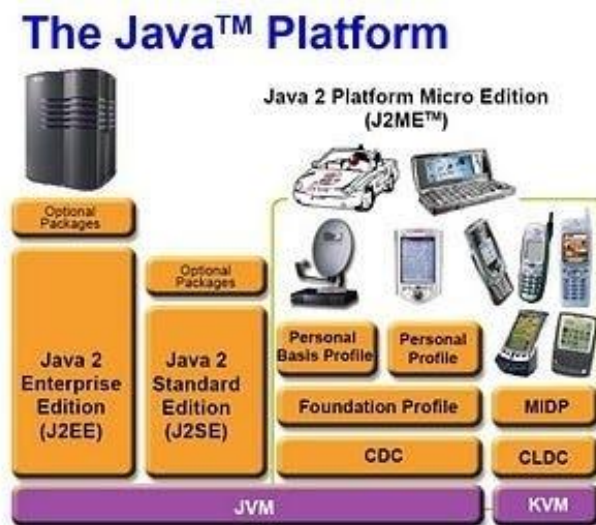
Python es un lenguaje de alto nivel de libre acceso es multiparadigma con una programación orientada a objetos, imperativa y funcional, cuenta con un intérprete o consola para probar el lenguaje y también se puede usar como una gigantesca calculadora muy similar al lenguaje Matlab. Cuenta con librerías estándar lo que lo hace un lenguaje de gran fortaleza, la cantidad de módulos que cuenta, cubre las necesidades del programador Challenger et al (2014).

Por otra parte, Torres, G. & Losano, G. (2010) realizaron un diseño y construcción de un robot de batalla llamado “RED BULL” controlado mediante dispositivo bluetooth, este robot es programado con lenguaje Java utilizando tecnología J2ME la cual contiene JRE optimizado, abarcando una gran cantidad de aparatos muy reducidos que permiten ejecutar programas de seguridad, conectividad en muchas áreas. La tecnología J2ME es apenas una parte del software Java, este software ofrece a su vez métodos de creación de páginas Web, envío de información por medio de XML, kits de herramientas, protocolos de red y la aplicación Java Web Start.

En la Figura 11 se muestra la arquitectura de la plataforma J2ME.

Figura 11

Arquitectura de la plataforma J2ME.



Fuente: De información obtenida de Torres, G. & Losano, G., (2010)

Parte de la construcción del robot la conforma los siguientes elementos, de acuerdo con Torres, G. & Losano, G. (2010), el PIC16F628A el cual funciona como control de potencia encargado de controlar cada una de las partes del robot, utiliza el Optoacoplador PC817 y que se encargan de protegerlo de corrientes inversas debido al uso de los motores DC, el alto consumo de corriente es controlado por Optoacoplador PC817 en unión con relés de 12V-30 A, para controlar el robot se realizó mediante comunicación Bluetooth 2.4GHz para brindar seguridad de no tener interferencias durante el control cuando esté en funcionamiento.

2.3 Contextualización

Luego del análisis de diferentes implementaciones equivalentes a luxómetros y soluciones que pudieran ser aplicables a la necesidad del proyecto, se determinaron algunas tecnologías que pueden ser aplicables al proyecto, tales como:

- Tecnologías de control

De acuerdo con la implementación realizada por González, C. & Salcedo, O. (2017) donde diseña un sistema de seguridad por medio del microprocesador Raspberry Pi emitiendo alertas por medio de imágenes y enviándolas por correo, se considera esas acciones que se pretenden incorporar al desarrollo de la automatización.

- Notificaciones

El sistema de notificaciones diseñado por González, C. & Salcedo, O. (2017) donde envían notificaciones e imágenes por medio de correo electrónico es parte de los alcances del proyecto por lo que podría ser parte de la implementación.

- Autonomía de alimentación

Se requiere usar una fuente de energía autónoma que pueda mantener el sistema la mayor parte del tiempo energizado, preferiblemente baterías de litio ferroso fosfato (LifePO4) que brinden la mayor cantidad de ciclos de carga y descarga.

De acuerdo con Artal Sevil (2014) donde realiza un análisis de las diferentes tecnologías de tipos de baterías la cual determina que a pesar de que las baterías de litio son más costosas esto porque cuentan con mayor cantidad de densidad de energía. Tanto el peso como la relación de

carga hacen que se deban cargar con mayor cuidado, sin embargo, en la Tabla 2 se puede apreciar las ventajas que ofrece el litio con respecto a las otras tecnologías.

- Transporte automatizado

El hardware para la movilidad que se requiere implementar en el sistema debe ser básico y simple pero versátil con flexibilidad al cargar el código para realizar la tarea definida, y que el dispositivo se traslade de forma autónoma, sin embargo, desarrollar un sistema según Altamirano (2024) donde se pueda identificar los obstáculos por medio de una cámara sería de análisis a considerar. En la Figura 12 se muestra una imagen de un rover que contiene elementos que podrían considerarse en el sistema de automatización que se pretende realizar como por ejemplo el brazo elevado para incorporar los sensores.

Figura 12

Rover LIDIAR



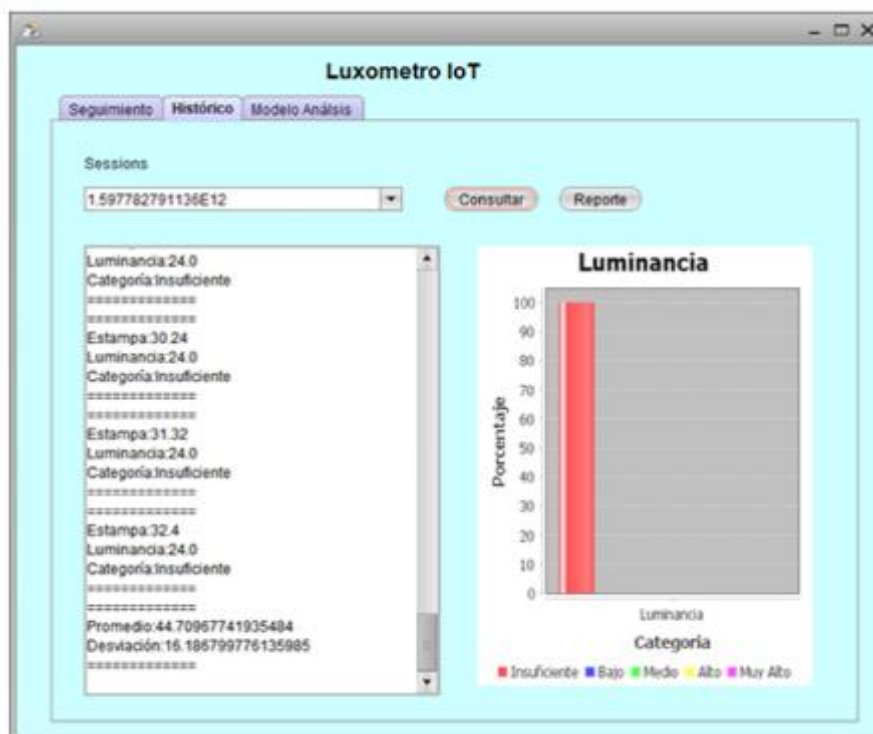
Fuente: De información obtenida de Altamirano Robles (2024)

- Interfaz de usuario

La interfaz gráfica implementada en Python por Chanchí et al (2020) podría adaptarse y realizar un rediseño, donde se contemple gráficos en tiempo real, registros tipo bitácora, reportes que permitan evaluar las condiciones de iluminancia para cumplir con la resolución del problema planteado en el proyecto. En la Figura 13 se logra visualizar un ejemplo de la interfaz gráfica que podría ser de análisis en el sistema a implementar.

Figura 13

Interfaz de usuario



Fuente: De información obtenida de Chanchí et al. (2020)

- Almacenamiento de datos

Para poder justificar el proyecto, se debe elegir las tecnologías que no generen costos asociados y de acuerdo con la Tabla 3 la opción de almacenamiento que más conviene usar podría ser

MySQL (© 2026 Oracle, 2026) porque tiene versiones gratuitas, es compatible con otras bases de datos y cuenta con multitud de interfaces de usuario.

- Sensores

Luego del análisis realizado en el contexto teórico de la Tabla 4 en función a las características de los posibles sensores de iluminación a usar, conviene poner en contexto elementos técnicos como el voltaje de operación, los rangos de medición, el protocolo de comunicación, la precisión, el costo monetario, entre otros para definir el sensor a usar.

- Lenguajes de programación

Nuevamente se contextualiza los costos de inversión por lo que es imperativo utilizar una tecnología de código abierto, fácil de usar, que sea multiplataforma lo que significa que pueda ser usado en sistemas operativos como Windows, MacOS y Linux (Python Software Foundation., 2025), para que el sistema no se limite en su uso, debe ser un programa de alto nivel que pueda desarrollar la automatización del dispositivo a implementar.

Después de haberse analizado el contexto histórico, contexto teórico y la contextualización y en base a los antecedentes estudiados donde se investigó a profundidad los posibles elementos tanto de hardware como de software que pueden ser de utilidad para el diseño e implementación del sistema de automatización que se pretende realizar permite un mejor entendimiento de la ruta que se debe trazar para buscar el cumplimiento con los alcances, por lo tanto, se procede a la investigación del Capítulo III.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo tiene como objetivo establecer los fundamentos conceptuales y las teorías relevantes que permiten comprender el fenómeno de estudio. Se abordarán conceptos clave y enfoques previos que explican la relación entre el sistema a automatizar y las herramientas a usar, a fin de proporcionar un contexto claro y una base sólida para el análisis en esta investigación.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para dar una perspectiva más clara de las herramientas a usar y los aspectos relevantes que conforman el marco metodológico, en los siguientes apartados se desarrollan las teorías sobre:

- Enfoque de la investigación
- Dimensión temporal
- Marco de la investigación
- Naturaleza de la investigación
- Carácter del proyecto

Para el tipo de investigación se considera el estudio de análisis de brechas, para analizar a profundidad las mejoras que se requieren y así al final del proyecto las bandas de brecha sean lo menor posible, para lo cual se estudiará un poco más a profundidad que es un análisis de brecha:

También conocida como el análisis GAP (del inglés gap analysis) que estudia el punto que se encuentra una determinada situación y el punto al que se quiere llegar por lo que se convierte en la evaluación de desempeño real de un proceso o sistema (García Martínez, 2023).

Otro aspecto de recalcar de un análisis de brecha es que muestra el rendimiento actual del sistema permitiendo identificar las limitaciones y evaluar las posibles mejoras que puedan solucionar un sistema o un proceso por lo que identificar de forma temprana los errores de la planificación estratégica con el fin de crear un plan de acciones correctivas que puedan reducir las brechas existentes entre la situación actual y el deseado.

Según indica García (2023) un análisis de brechas permite realizar la siguiente evaluación:

- Identificar las debilidades del proceso o sistema.
- Evaluar y cuantificar la situación actual.
- Busca soluciones integrales.
- Optimiza los procesos desde una perspectiva general.

A la hora de realizar el análisis se debe tener un criterio objetivo de la situación actual reconociendo las debilidades y fortalezas pues “Es clave, además, que plantees metas específicas, pues si los objetivos son muy amplios o intangibles es poco probable que puedan alcanzarse” (García Martínez, 2023) manteniendo total realismo de lo que se requiere conseguir y así pueda reducir o eliminar la brecha propuesta.

Para lo cual trazarse alcances tangibles de mejora que puedan conseguir el éxito propuesto del proyecto debe ser de consideración plantearse algunos aspectos que puedan ayudar al objetivo, tal como:

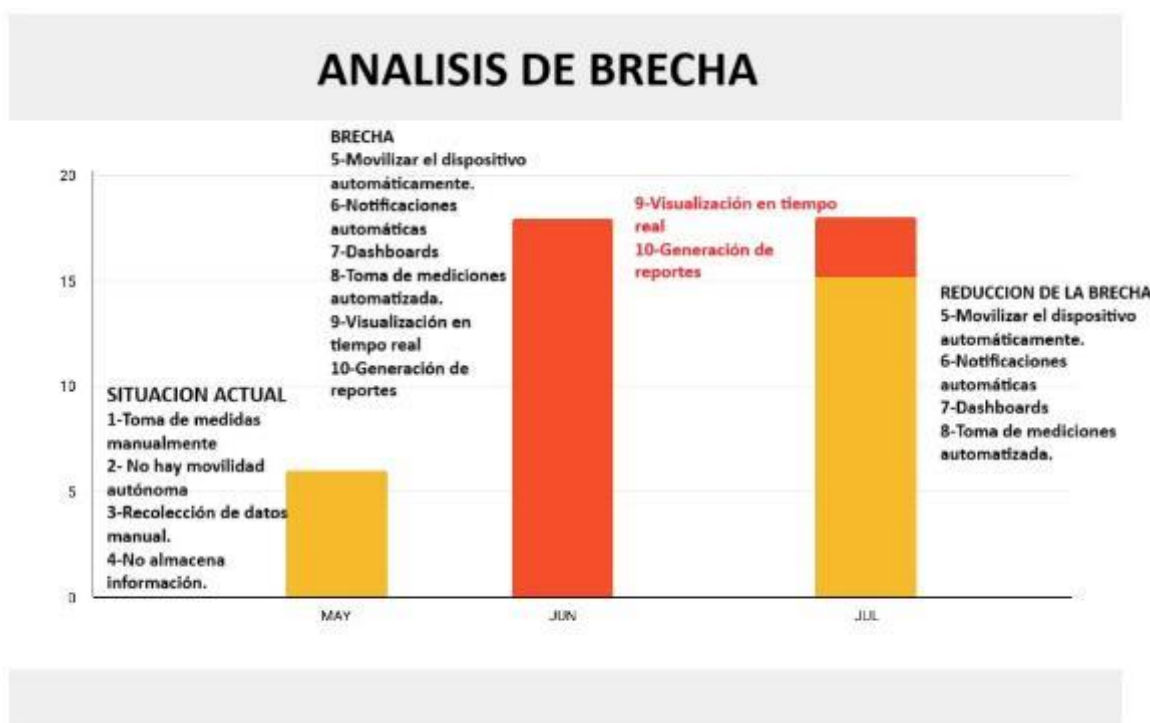
- Innovación en el mercado
- Facilidad de uso del sistema
- Viabilidad económica
- Agilidad de los procesos
- Cumplimiento de normativas

- Trazabilidad del sistema

En la Figura 14 se establece la situación actual y las mejoras que requiere el sistema y lo que se pretende resolver, reduciendo la brecha del sistema actual con respecto a lo propuesto.

Figura 14

Reducción y análisis



Fuente: De información obtenida del autor (Ulate Araya, 2024).

Como se puede apreciar en la Figura 14 la situación actual del sistema es manual, el equipo para realizar las fotometrías es un luxómetro el cual se debe transportar manualmente y los datos de las medidas o valores de iluminancia son recabados manualmente, los reportes se derivan de la

información recabada por lo que la fidelidad de la información puede ser alterada. El análisis de brecha pretende realizarle mejoras de tal manera que se pueda automatizar el sistema realizando un dispositivo que pueda mejorar las funcionalidades manuales del sistema, el almacenamiento de datos y así innovar en el mercado con un sistema automatizado.

3.1.1 Enfoque de la investigación

La descripción del análisis de brecha mencionado en el apartado anterior, del tipo de investigación a realizar, tiene como finalidad reducir la brecha de la investigación la cual se centra en mejorar el dispositivo actual por lo que establecer los criterios que debe tener el sistema como automatizar la toma de medidas fotométricas, el almacenamiento automático de la información, movilidad, notificaciones entre otros, lo que se convierte en la finalidad del proyecto. Otro fin que se busca es la fabricación del dispositivo para ofrecerlo como un producto de venta al comercio convenciendo al sector de la industria del ahorro que representa la automatización por la tecnología aplicada.

A través de la historia de la ciencia han surgido diferentes corrientes de pensamiento y desde el siglo pasado tales corrientes se han ido polarizando en dos principales aproximaciones tales como el enfoque cuantitativo como el enfoque cualitativo, por lo que es de necesidad para la comprensión de lo que se busca analizar, hacer un estudio a profundidad de cada concepto:

- Enfoque cuantitativo

Según Babativa (2017) se refiere al enfoque cuantitativo de una manera amplia y donde contextualiza sobre el enfoque de una investigación cuantitativa, como:

La investigación cuantitativa surge en las ciencias naturales y posteriormente es transferida a los estudios sociales; se caracteriza por ser objetiva y deductiva, producto de

los diferentes procesos experimentales que pueden ser medibles, su objeto de estudio permite realizar proyecciones, generalizaciones o relaciones en una población o entre poblaciones a través de inferencias estadísticas establecidas en una muestra. Es así como el alcance de la investigación cuantitativa es poder establecer las relaciones de causa-efecto que se pueden presentar también cuando abordamos problemas sociales. Este tipo de investigación también se fundamenta en hallazgos comunes que permitan relacionar las variables en diversas realidades en la sociedad mediante el uso de la estadística, donde otros investigadores sociales pueden fundamentarse para continuar con otros estudios. (p. 7)

- Enfoque cualitativo

La investigación cualitativa llamada también investigación naturista, fenomenológica, interpretativa o etnográfica según Hernández Sampieri (2010) la cual se basa en una variedad de concepciones, visiones, técnicas y estudios no cuantitativos, este tipo de investigación comienza examinando el mundo social desarrollando una teoría consistente observando el entorno.

Algunas características del enfoque cualitativo:

- En la mayoría de los estudios cualitativos no se prueban hipótesis.
- Se basa en la recolección de datos no estandarizados.
- El proceso de es flexible moviéndose entre los eventos y su interpretación.
- No generaliza los resultados de manera probabilística a poblaciones más amplias.

Basado en el concepto anterior el enfoque que busca la investigación es de tipo cuantitativo ya que pretende analizar datos, medidas, tiempos por lo tanto, se aplicará la investigación

cuantitativa al dispositivo para medir los resultados de la implementación en cuanto a los valores fotométricos sean correctos, el almacenamiento de datos y cuanto reduce en tiempo el proceso de toma de mediciones, por lo que se cuantificará el valor de costos directos e indirectos en los recursos que la empresa LUMISENS destina para ese tipo de servicio.

3.1.2 Dimensión Temporal

La investigación longitudinal busca analizar categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos y comunidades a través del tiempo y sus relaciones entre ellas (Hernández Sampieri et al. (2010)) recolectando datos a través del tiempo en puntos o periodos para hacer una deducción respecto al cambio sus determinantes y consecuencias. Especificando los puntos o periodos de ante mano, como por ejemplo los niveles de empleos en un periodo de un gobierno.

Por otra parte, “Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interacción en un momento dado” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 2010).

La dimensión temporal de este proyecto se califica como una investigación transversal por lo que se realizará en un tiempo único, por lo tanto, dicha investigación se realiza entre junio 2025 a diciembre 2025. En ese lapso se estudia a profundidad los alcances del proyecto, se analiza las implementaciones existentes en el mercado, se evalúa a profundidad los componentes electrónicos a usar, se define las tecnologías a usar y se establece una ruta de trabajo para reducir la brecha de acuerdo con la propuesta de mejora.

Para la empresa LUMISENS es prioritario desarrollar el dispositivo en un tiempo corto ya que resuelve procesos que se realizan manualmente que incrementan los costos operativos y atrasos en el servicio al cliente.

3.1.3 Marco de la Investigación

Para conocer mejor los conceptos del marco de una investigación se profundizará en el enfoque micro y macro de tal manera que se describen a continuación ambos conceptos:

- Enfoque micro

De acuerdo con DeCarlo (2022) “la investigación de nivel micro estudia individuos e interacciones individuales, grupos de estudios de investigación de nivel meso e instituciones y políticas de estudios de investigación a nivel macro”.

- Enfoque macro

Las investigaciones a nivel macro estudian a un grupo de individuos e interacciones al nivel más amplio (DeCarlo, 2022), como las interacciones entre naciones, estados o sistemas culturales.

El marco de la investigación se fundamenta en dos aspectos importantes, micro y macro, en cuanto a la funcionalidad micro el proyecto busca la implementación de una mejora en el proceso de toma de medidas fotométricas, facilidad de movilidad y almacenamiento de la información, en cuanto al aspecto macro se pretende desarrollar el proyecto y ofrecerlo a la industria y que pueda ser una herramienta más en la verificación de información de las personas encargadas de control de calidad y seguridad ocupacional.

3.1.4 Naturaleza de la Investigación

Los dos planteamientos paradigmáticos que existen en el campo de la investigación son los estudios cuantitativos y cualitativos. Un paradigma, es un conjunto de creencias y actitudes, una visión del mundo que implica explícitamente una metodología determinada; como fuente de métodos, problemas y normas de resolución aceptados (Universiad Naval, 2020)

Establecer que se investiga, como se investiga y para que se investiga hace que cada enfoque tenga una concepción diferente, por lo que se debe definir el paradigma que pueda ser congruente con el proyecto a realizar. En la Figura 15 se muestra ampliamente los conceptos de los enfoques cuantitativos, cualitativos y mixto.

Figura 15

Enfoques o paradigmas.



Fuente: De información obtenida de (Universiad Naval, 2020)

El sistema automatizado busca una línea comparativa la cual pretende cuantificar medidas y realizar análisis de datos por lo que la naturaleza de la investigación es de carácter cuantitativo.

3.1.5 Carácter de la investigación

Un diseño experimental según Hernández Sampieri et al. (2010) es elegir o realizar una acción y después observar los resultados lo que hace un término bastante coloquial que se refiere a “experimentar”, por ejemplo, cuando se mezclan sustancias químicas y se observa la reacción provocada.

“Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 2010, p. 79).

La recolección y análisis de datos demanda una investigación experimental seria la cual conlleva un compromiso consigo mismo y con el entorno del investigador, demostrando que se han seguido los procedimientos adecuados a la naturaleza del trabajo en cuanto al tratamiento y exposición de los resultados es una obligación importante (Duarte Cristancho, 2007).

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Luego de definir el tipo de información se estudiará las fuentes de información que más se ajustan al proyecto obteniendo los recursos que proporcionan los datos, hechos, investigaciones y opiniones sobre el dispositivo electrónico que se pretende realizar y que la investigación sea respaldada con argumentos e ideas. Es importante evaluar la confiabilidad de las fuentes por lo que se tiene que asegurar que sean relevantes y estén respaldadas por investigaciones sólidas, por tanto, se evaluarán para la investigación tanto fuentes primarias, secundarias y sujetos de información.

3.2.1 Fuentes primarias

De acuerdo con Seivewright (2011) las fuentes primarias son los elementos que se han ido reuniendo o tomando nota a primera mano, dicho de otro modo, son los objetos que el investigador recaba directamente, por ejemplo, para el caso del dispositivo electrónico de medición de iluminación y almacenamiento de datos que se pretende realizar un caso de fuente primaria podría ser los datos de las mediciones fotométricas que pueda ofrecer el sensor de luz que se va a usar en el dispositivo (p. 48).

Como parte de las fuentes primarias se establecen las encuestas y entrevistas que más adelante en el documento se explicaran con más detalle.

3.2.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias son las que se encuentran en libros, periódicos, revistas o internet, por lo que se convierte en información realizada por otras personas, son de igual importantes como las primarias siempre y cuando se adquieran de fuentes confiables, es importante que exista un equilibrio entre ambas en la investigación (Seivewright, 2011).

Para poder cumplir con los alcances del proyecto se investigarán solo fuentes confiables como repositorios, libros que a través de la carrera los profesores han compartido, paginas oficiales de los gobiernos, Google académico, entre otros.

3.2.3 Sujetos de información

Los sujetos de investigación pueden ser personas o grupos de personas que se estudian o ayudan en el estudio de una investigación. Para el cumplimiento del proyecto se abordarán a personas con gran conocimiento en el tema, como por ejemplo personas relacionadas directamente con

la empresa y profesionales con gran conocimiento en temas de normas, calibraciones, estándares y que pertenezcan a comités de estandarización, por ejemplo para la empresa LUMISENS se considerará el gerente general de la empresa y en cuanto a sujetos no relacionados con la empresa directamente se abordarán ingenieros que trabajan en laboratorios de acreditación y profesionales que pertenezcan a comités relacionados a calibraciones o normas de iluminación.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

Las técnicas y herramientas para realizar una investigación se logran mediante recolección de información en los ambientes cotidianos de los participantes o unidades de análisis. “En el caso de seres humanos, en su vida diaria: cómo hablan, en qué creen, qué sienten, cómo piensan, cómo interactúan, etcétera. Ahora bien, ¿cuál es el instrumento de recolección de los datos en el proceso cualitativo?” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio , Metodología de la investigación, 2010, p. 409).

Por lo que se consideraran las siguientes técnicas y herramientas en la investigación:

3.3.1 Observación

Al realizar una investigación una de las herramientas más valiosas a usar es el método de la observación, según Ortega (2024) el método de la investigación permite adquirir información y documentar fenómenos a medida que se desarrollan, exploraremos algunos tipos a considerar en la investigación:

- Observación naturista: Se observan los objetos en el entorno sin manipularlos.
- Observación participante: Se interviene activamente en la investigación.

- Observación estructurada: Se definen los comportamientos, criterios o acontecimientos específicos para la observación.
- Observación no estructurada: Consiste en estudiar una situación sin categoría ni criterios definidos permitiendo captar comportamientos o interacciones de eventos inesperados que podrían no estar previstos y definir solución de problemas.
- Observación de estudio de caso: observación y análisis a profundidad, implica la recopilación de una gran cantidad de información, procedentes de diversas fuentes, como entrevistas, documentos y observaciones.
- Observación transversal: Se recopilan datos en un único momento, utilizado en encuestas y estudios que examinan las correlaciones.
- Observación longitudinal: Se recopilan datos de un mismo participante o grupo de participantes durante un periodo prolongado, permitiendo estudiar los cambios y la evolución a lo largo del tiempo.

Para el análisis del proyecto se pretende realizar tres tipos de observación:

- 1- Observación participante: ya que por las condiciones de la labor que se realiza en la empresa parte de las funciones es realizar visitas a las industrias y comercios a verificar datos fotométricos, por lo que se podría aplicar este tipo de observación.
- 2- Observación estructurada: Se realizará una observación desde una perspectiva menos participativa donde se formulen criterios y comportamientos de compañeros que realicen las fotometrías estableciendo una serie de indicadores que ayuden a enlistar los inconvenientes que genera el sistema actual.
- 3- Observación no estructurada: se verificará como se realiza las fotometrías por los diferentes encargados de la empresa LUMISENS esto con el fin de interpretar la

problemática del sistema actual donde se puedan evaluar situaciones inesperadas que aporten ideas a la mejora de la solución que se pretende.

3.3.2 Entrevista

La entrevista es uno de los métodos cualitativos más utilizados en una investigación para obtener datos que se necesitan, permiten recoger, analizar varios elementos: la opinión, la actitud, los sentimientos, las representaciones de la persona entrevistada, se clasifican en tres tipos, estructurada, semi estructurada y no estructurada (Mugira, 2024):

- Entrevista estructurada: sigue un formato preestablecido donde el entrevistador prepara una lista de preguntas basadas en las necesidades del objeto a investigar.
- Entrevista semi estructurada: Se realizan preguntas en orden previamente definido y otras preguntas de orden aleatorio, consiste en preguntas específicas y generales.
- Entrevista no estructurada: no sigue un patrón estándar de preguntas, es subjetiva y el entrevistador hace preguntas basadas en la habilidad del sujeto de investigación.

Realizar una entrevista de forma eficiente y eficaz se debe preparar información sobre las preguntas que se requiere hacer a la persona a investigar a fin de orientar sobre los temas, el entrevistador debe tener claridad y buena comunicación, realizar preguntas fáciles de comprender para así captar reacciones y gesticulaciones que puedan ser interpretados y que ayuden a las respuestas que se desean obtener.

En la Figura 16 se muestra la forma de realizar una entrevista presencial, sin embargo, en la actualidad existen sistemas virtuales que facilitan realizar entrevistas que solucionen problemas de ubicaciones geográficas entre el investigador y el entrevistado.

Figura 16

Entrevista laboral.



Fuente: De información obtenida de sitio web (Mugira, 2024)

3.3.3 Encuesta

La encuesta es un método de investigación que recopila información mediante muestras de selección, donde el tamaño de esa muestra es una representación de una población más grande.

Las encuestas son muy utilizadas como respuesta a la satisfacción y fidelidad de los clientes, en caso de empresas para definir la comercialización de los productos, sin embargo, también son usadas para entender mejor las diferentes consultas que puedan surgir en una investigación.

De acuerdo con Vincent (2020) hay diferentes tipos de encuestas que se pueden realizar, para un mejor entendimiento y ser capaz de escoger la que mejor se acomode a las necesidades y obtener la calidad de los datos que se pretenden, mencionamos alguna de ellas:

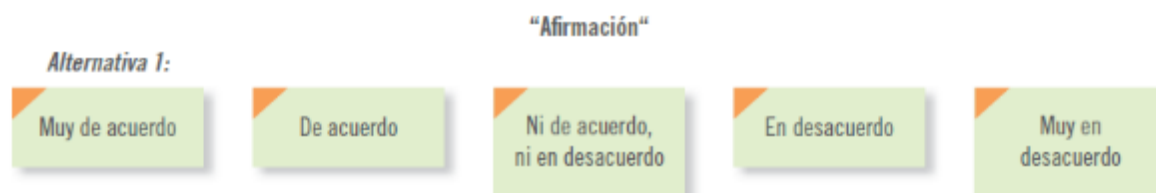
- Encuesta cualitativa: se enfoca en opiniones, puntos de vista e impresiones para describir un tema sujeto a estudio.
- Encuesta cuantitativa: se basan en números y datos, utilizadas con enfoques más científicos como medio de refutar los resultados de una encuesta cualitativa.
- Encuesta descriptiva: se enfoca en obtener información sobre una situación presente, busca datos relevantes sobre las actitudes o problemas de la población al momento de realizar la encuesta.
- Encuesta analítica: su objetivo es el de estudiar y analizar una problemática actual para encontrar una solución.

Para elaborar una encuesta de manera efectiva se puede apoyar en la escala de Likert, según Hernández Sampiere et al. (2010) una encuesta consiste en un conjunto de preguntas presentadas en forma afirmativas o juicios, ante los cuales se pide la respuesta de los participantes, es decir, se presenta cada afirmación y se solicita al sujeto que externé su reacción eligiendo uno de los cinco puntos o categorías de la escala. Así, el participante obtiene una puntuación respecto de la afirmación y al final su puntuación total, sumando las puntuaciones obtenidas en relación con todas las afirmaciones (p. 245).

En la Figura 17 se observa un ejemplo de la estructura que se puede utilizar para realizar las preguntas en el escalamiento tipo Likert (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la Investigación (6.^a ed.), 2014), sin embargo, existen otras técnicas para formular encuestas como el escalamiento de Guttman y otros tipos.

Figura 17

Escalamiento Likert.



Fuente: De información obtenida de (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio , Metodología de la investigación, 2010).

3.4 FACTORES DEL PROYECTO

Con el propósito de determinar la factibilidad integral del proyecto, en este apartado se analizan los factores internos, externos y de impacto que influyen directamente en su desarrollo e implementación. Dicho análisis permite evaluar la disponibilidad de recursos, la viabilidad técnica y económica, así como los aspectos legales, normativos y contractuales que enmarcan la propuesta. Asimismo, se consideran los posibles impactos académicos y ambientales asociados al diseño del sistema, con el fin de establecer una base sólida que justifique la continuidad del proyecto y oriente el diseño de la investigación que se abordará en el apartado siguiente.

Factores internos

- Recursos disponibles

La empresa LUMISENS ofrece recursos de equipamiento poniendo a disposición luxómetros, equipos de medición de distancias, transporte para realizar visitas a las empresas donde se

realizan fotometrías con los equipos existentes por lo que se convierte en un factor muy importante de evaluación para la interpretación de los requerimientos del sistema en diferentes escenarios, en la Figura 18 se muestra una imagen de una fotometría realizada en la empresa Café Rey.

Figura 18

Fotometría para empresa Café Rey.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En cuanto a la disponibilidad de requerimientos para la realización del prototipo los recursos son de inversión personal, sea el caso de comprarlos en plaza o de importación.

- Viabilidad técnica

En cuanto a la viabilidad técnica tomando en cuenta lo investigado y las posibles soluciones que existen en el mercado para aplicarlas al sistema automatizado como sensores, almacenamiento de la información, movilidad del sistema y lenguajes de programación ya investigados en el marco teórico, esas tecnologías, sensores e infraestructura son aspectos que se considera técnicamente viable.

- Viabilidad económica

De acuerdo con el avance de la investigación y a lo propuesto en los objetivos y alcances considerando las limitaciones, el diseño e implementación del prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico y almacenamiento de datos que es la finalidad del proyecto es considerado una herramienta viable económicamente, ya que se cuenta con disponibilidad de los materiales, ya sea de compra en plaza o de importación.

Actualmente existe una gran variedad de tiendas electrónicas en el país que ofrecen los componentes electrónicos, también existen tiendas virtuales para la adquisición de esos componentes y dado caso no se puedan comprar a nivel plaza, se pueden importar, donde duran alrededor de 3 semanas en la entrega.

En el capítulo V se estará describiendo a mayor profundidad el análisis comparativo de costos donde se puede ver a detalle la viabilidad económica del proyecto en cuestión.

Factores externos

- Aspectos legales

No se conocen aspectos legales para el desarrollo del sistema, ya que no hay luxómetros automatizados patentados en el país.

- Aspectos normativos

En el país existen varios laboratorios acreditados de parametrización en los cuales se puede realizar comparativos y establecer los índices de incertidumbre que permitan un análisis de mayor fidelidad del sistema de medición de la luz (GRUPO ICE, 2025). Otro aspecto importante

de tener en cuenta son los valores de intensidad de iluminancia, el cual se convierte en los datos numéricos de cumplimiento que se miden en lux, estos valores se definen de acuerdo con las actividades que se ejecutan. En el país se cuenta con INTECO (2016) el cual es el Instituto de Normas Técnicas y por ende es de importancia conocer dichos parámetros para así tener un criterio amplio en los cumplimientos de las diferentes actividades.

- Aspectos contractuales

El proyecto es elaborado en la empresa LUMISENS donde hay total conocimiento por parte del departamento de gerencia general, sin embargo, la inversión de la fabricación del sistema es financiada por el estudiante, por tanto, no existe ningún contrato de representación.

En cuanto a aspectos contractuales con los sistemas actuales, no existe ningún contrato de uso de alguna marca específica.

Factores de impacto

- Académico

El proyecto pretende dar a conocer de manera amplia conceptos de iluminación y aspectos de automatización. Al tratarse de un sistema nuevo, en el cual interviene un código de programación que aborda temas innovadores de automatización, se considera que podría constituir un aporte académico para incentivar a los estudiantes de la carrera de Electrónica tanto en colegios como en universidades.

- Ambiental

El efecto ambiental que generar los componentes como las baterías de litio u otros que ocasionen un daño al ambiente se ajustará a lo estipulado en la ley 8839 (LA ASAMBLEA

LEGISLATIVA DE LA REPÚBLICA DE COSTA RICA, 2010), esto con el fin que el sistema cumpla con los parámetros ambientales y no genere contaminación ambiental. El impacto ambiental se tratará de reducir usando baterías de litio recargables de 2000 ciclos.

Después de analizado los factores internos, externos y de impacto, en donde se manifiesta el soporte de la empresa, la viabilidad económica y técnica, los aspectos legales normativos y contractuales y los factores académicos y ambientales se analizará el diseño de la investigación en el siguiente apartado.

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Definición de variables.

Para definir el concepto se tiene que: “Las variables de la investigación son las propiedades medidas y que forman parte de las hipótesis o que se pretenden describir (género, edad, actitud hacia el presidente municipal, inteligencia, duración de un material, etc.)” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio , Metodología de la investigación, 2010, p. 283) es parte de la investigación que puede cambiar o fluctuar y podría tener impacto sobre la investigación a realizar dependiendo del manejo de ellas.

De acuerdo con Ramos Galarza (2021) afirma lo siguiente:

En un diseño de tipo experimental, la variable independiente se caracteriza por generar los grupos de intervención que se organizan en el estudio. Clásicamente, una variable independiente es la variable causal que genera un impacto sobre una variable dependiente.

(p. 2)

Con base en lo anterior, en la Tabla 5 se presenta la matriz de congruencia donde se definen las categorías como la unidad de análisis, variables, descripción de la variable y la instrumentación, esto basado en los objetivos específicos de la investigación, planteados en el capítulo I.

Tabla 5

Matriz de congruencia

Pregunta de la investigación	Objetivos específicos	Unidad de análisis	Variables o conceptos	Descripción de la variable o concepto	Operacionalización (Instrumentalización)
¿Cómo diseñar e implementar un sistema electrónico automatizado que permita realizar mediciones fotométricas movilizándose a través de un robot, procesando y almacenando	Realizar análisis del sistema actual estableciendo los criterios de diseño que permita el análisis de resultado final.	Luxómetro actual.	Análisis de brecha.	Se definen las mejoras tecnológicas que requiere el sistema actual	Exploratorio.
	Estudiar soluciones de tecnologías que implementen un luxómetro móvil o autónomo para el estudio de la solución en desarrollo.	Tecnologías a implementar en el sistema.	Microcontroladores y Microprocesadores	Escoger el tipo de tecnología que mejor se adapta al proyecto.	Revisión bibliográfica.
			Sensores	Definir el sensor de luz, los sensores de humedad y temperatura.	Exploratorio. Revisión bibliográfica.
			Actuadores.	Diseñar los elementos del hardware a usar	Investigación de recursos disponibles del mercado.
			Lenguaje de programación	Estudiar los lenguajes de programación que se ajusten al presupuesto del proyecto	Investigación bibliográfica Tendencias de la industria.

Pregunta de la investigación	Objetivos específicos	Unidad de análisis	Variables o conceptos	Descripción de la variable o concepto	Operacionalización (Instrumentalización)
¿o los datos obtenidos en una base de datos?	Realizar un estudio con instrumentos de extracción de datos metodológicos con las diferentes partes interesadas que permita la determinación de la brecha	Alcances para mejorar el sistema.	Análisis de brecha.	Listar las necesidades inmediatas que requiere mejorar el sistema con el departamento responsable.	Exploratorio.
	Construir la infraestructura del robot que dará movilidad al sistema el cual podría ser un chasis liviano de 260x150 mm de material de acrílico o PVC y 4 ruedas donde se montaran los elementos necesarios como motores, sensores, controladores, etc.	Prototipo	Hardware	Investigar en el mercado local los accesorios que permita construir el robot.	Exploratorio. Investigación bibliográfica.
	Diseñar el prototipo a nivel de hardware y software que brindará solución al	Accesorios del robot.		Explorar los diferentes factores asociados que requiere el robot como sensor	Investigación bibliográfica.

Pregunta de la investigación	Objetivos específicos	Unidad de análisis	Variables o conceptos	Descripción de la variable o concepto	Operacionalización (Instrumentalización)
	problema definido incorporando accesorios al sistema como sensores de humedad y temperatura, de detección de movimiento, accesorios de visualización en tiempo real (pantalla), cámara fotográfica, entre otros.	Lenguaje de programación	Necesidades paralelas del robot. Software	ultrasónico, de humedad y temperatura y cámara fotográfica, etc. Definir el lenguaje de comunicación con el que se realizará la programación	Tendencias de la industria. Exploratorio. Investigación bibliográfica. Entrevista. Análisis de datos
	Implementar el prototipo diseñado con sus respectivas pruebas para garantizar el correcto funcionamiento utilizando diferentes escenarios.	Pruebas in situ.	Realizar pruebas de funcionamiento en diferentes áreas.	Evaluar el funcionamiento del equipo y verificar las mejoras en caso de que se requieran, tanto en software como en hardware.	Exploratorio Pruebas de funcionamiento. Análisis de resultados. Informe.
	Determinar los costos y beneficios asociados a la implementación del sistema de automatización que brinde una solución de acuerdo con	Viabilidad del sistema	Costos y beneficios	Determinar los costos del sistema que pueda ofrecer una solución económicamente viable	Tendencias del mercado. Análisis comparativo Exploratorio

Pregunta de la investigación	Objetivos específicos	Unidad de análisis	VARIABLES o conceptos	Descripción de la variable o concepto	Operacionalización (Instrumentalización)
	el problema definido.				

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

3.6 IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La implementación de la investigación se presenta en la Tabla 6 donde se establece una línea de tiempo detallando las etapas que conlleva la elaboración del proyecto.

Tabla 6

Cronograma de trabajo

Sección	Junio 2025	Julio 2025	Agosto 2025	Setiembre 2025	Octubre 2025	Noviembre 2025	Diciembre 2025
Capítulo 1	✓						
Capítulo 2		✓					
Capítulo 3			✓				
Capítulo 4				✓			
Capítulo 5					✓	✓	✓
Capítulo 6							✓
Entrega primera revisión							✓

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

CAPÍTULO IV
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para el desarrollo de esta sección, se considera el análisis de apartados asociados a la situación actual que posee la empresa LUMISENS en términos de la problemática descrita en el capítulo I, asimismo, se detallarán los instrumentos a utilizar para obtener datos para el análisis y finalmente con estas fuentes de datos, se realizará un análisis de brecha (Medrano Cerdas, Tesina UH, 2004). El análisis pretende establecer un conjunto de elementos que eventualmente se pueden implementar en el proyecto, a continuación, el detalle.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

De acuerdo con lo descrito en el capítulo I donde se expone la problemática sobre el sistema actual que posee la empresa LUMISENS cuando se realizan mediciones fotométricas en las diferentes áreas ya sea exteriores o interiores según la demanda de los clientes de la empresa, por lo que se exponen 3 aspectos importantes que se describen a continuación y que tienen relación directa con la situación actual:

- Toma de medición fotométrica.
- Almacenamientos de los datos medidos.
- Procesamiento de los datos y realización de informes.

Por lo tanto, se describirá con más detalle la situación del sistema actual en cuanto a estos 3 aspectos mencionados:

- Toma de medición fotométrica.

La empresa LUMISENS utiliza luxómetros de la marca Dr. Meter, modelo LX1330B (AGROMATIC, S.A., 2016) para realizar las fotometrías que demanda los clientes de la empresa, en la Figura 19 se muestra el equipo actual.

Figura 19

Luxómetro manual marca Dr. Meter.



Fuente: De información obtenida de la página web (AGROMATIC, S.A., 2016)

Como bien se aprecia en la Figura 19 el equipo actual se compone de una estructura de dos partes, la parte principal donde está la operación de las funciones como el botón de encendido y apagado, la selección de las funciones que define la unidad de medida cuando se requiere medir luxes o FC (pies/candela), el botón del rango de selección que dependiendo de la intensidad lumínica medida se debe seleccionar el rango, también tiene una pantalla de visualización de las medidas y por último en la parte trasera hay un espacio donde se almacena la batería de 9VDC, la parte secundaria está compuesta por el sensor de luz el cual se conecta a la estructura principal por medio de un cordón flexible lo que permite poner el sensor ligeramente alejado de la parte principal donde se encuentra el módulo de la pantalla (AGROMATIC, S.A., 2016).

En la Figura 20 se muestra las especificaciones técnicas (AGROMATIC, S.A., 2016) del luxómetro que utilizan los colaboradores de la empresa LUMISENS.

Figura 20

Especificaciones técnicas del equipo actual.

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

Monitor	Pantalla LCD de 3 1/2 dígitos
Selección de rango	200Lux , 2.000Lux , 20.000Lux , 200.000Lux
	20FC 200FC 2.000FC 20.000FC
	Rango de 20.000Lux: lectura x 10
	Rango 200.000Lux: lectura x 100
	Rango de 20.000 FC: lectura x 10
	Anotar: 1FC = 10.76Lux
Exactitud	<20.000Lux / 2.000FC: ± (4% lectura + 10 dígitos)
	≥20.000Lux / 2.000FC: ± (2% lectura + 10 dígitos)
Resolución	0,1 lux
Precisión repetible	± 2%
Tasa de prueba	2 veces / seg.
Sensor de fotos	un fotodiodo de silicio con filtro.
Temperatura / humedad de operación	0 °C a 40 °C / 0 - 70% RH
Fuente de alimentación	una batería de 9 V, modelo 6F22
Duración de la batería	200 horas para uso continuo
Dimensión del fotodetector	10x * 56 * 28 mm
Dimensión	162 * 78 * 43 mm

Fuente: De información obtenida de la página web (AGROMATIC, S.A., 2016)

Como se muestra en la Figura 19 y Figura 20 el sistema puede medir luxes o pie candelas, tiene una pantalla donde se muestran los datos medidos y el valor de referencia, también cuenta con un botón para posicionar la medida de acuerdo con la intensidad de luz a medir. El equipo actual depende de un usuario para movilizarlo o bien se puede usar un trípode para moverlo hacia el punto a medir tal como se muestra en la Figura 21, sin embargo, las mediciones deben ser recabadas por medio del usuario ya sea escribiendo los datos en un cuaderno o tomando fotografías para recolectar las mediciones.

Figura 21

Trípode donde se posiciona el luxómetro.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En la mayoría de las ocasiones se usa un trípode para posicionar el luxómetro, esto cuando el área lo permite, de lo contrario se debe desplazar manualmente, el luxómetro contiene una estructura rectangular con un cordón que une la estructura con el sensor de acuerdo con lo descrito anteriormente en la Figura 19, éste a su vez se posiciona en la parte de arriba del trípode y la estructura principal se ubica en una de las patas del trípode sujetándose con una gaza o una cinta adhesiva, como se visualiza en la Figura 21.

Cuando se realizan las fotometrías se debe utilizar instrumentos de medición que permitan posicionar el sensor del luxómetro a una altura estándar o a la altura específica que requiera el cliente. En la Figura 22 se muestra cómo se realiza el posicionamiento, el cual, sin duda es un proceso muy manual e inexacto.

Figura 22

Fotometría para empresa Café Rey.



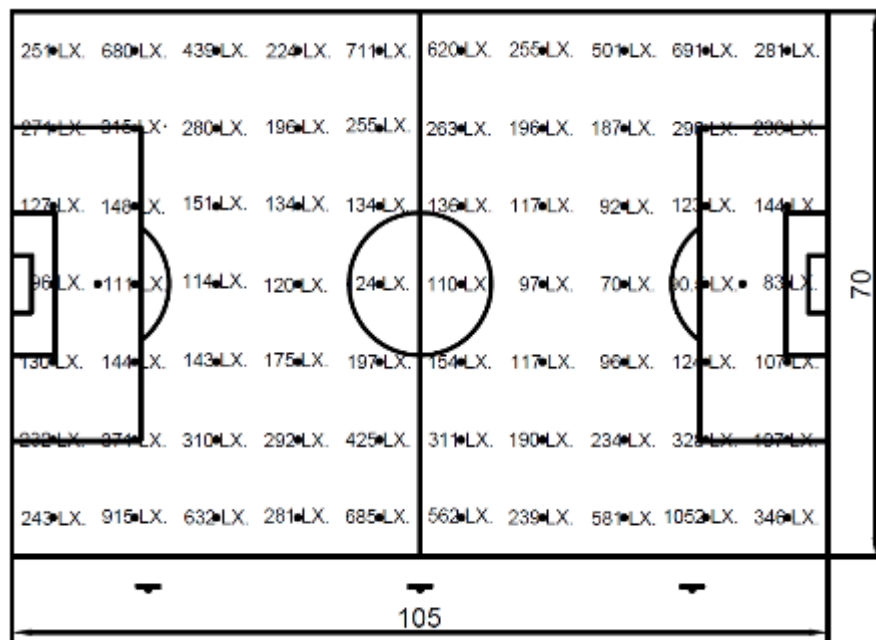
Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se puede visualizar en la Figura 22 el sensor del luxómetro se posiciona en la parte alta del trípode a 80 cms NPT (Muñoz Fica, 2020) o bien a la altura que demande el área de trabajo, es importante mencionar que el plano de trabajo en donde se realizan las mediciones puede cambiar de acuerdo con los estándares predeterminados en cada industria o área dónde se va a recabar información.

Como anteriormente se menciona en la mayoría de los casos las mediciones son recabadas mediante un cuaderno, o un plano en dado caso se tenga acceso a esa información, en la Figura 23 se aprecia una imagen de la forma en la que se recaban las mediciones.

Figura 23

Forma de recabar los datos medidos.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

- Almacenamientos de los datos medidos.

Los datos recolectados se realizan de dos maneras, de forma escrita en un cuaderno, el usuario se aproxima al luxómetro de tal manera que se evite realizar la menor cantidad de sombras para no afectar la medición realizada y en la mayoría de los casos para poder recabar los datos debe ponerse en posición de cuclillas. Otra forma de realizar la toma de datos es mediante la cámara fotográfica del celular, sin embargo, para áreas que tienen muy poca luz la cámara no capta los datos que se despliegan en la pantalla del luxómetro y utilizando el flash de la cámara no se puede porque altera la intensidad lumínica y altera el dato de medición real.

En la Figura 24 se muestra cuando los colaboradores de la empresa LUMISENS obtienen la información al momento de realizar las mediciones fotométricas.

Figura 24

Fotometría para empresa Café Rey



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

- Procesamiento de los datos y realización de informes.

Luego de obtener las mediciones en el área definida, el encargado de proyectos de la empresa LUMISENS procede a realizar el análisis de la información y posteriormente el informe. Para lograr el análisis de la información traslada los datos de las mediciones al programa Excel para evaluar las variables más importantes que sería el promedio y la uniformidad, en la Figura 25 se presenta una tabla de la forma en que se calcula esas variables.

Figura 25

Cuadro de análisis de las mediciones realizadas

	TORRE FACCIÓN (lxs.)	MOLINO (lxs.)	EMPAQUE PASILLO (lxs.)	BODEGA WALMART (lxs.)	BODEGA MATERIA PRIMA (lxs.)	DESPACHO (lxs.)	BODEGA MATERIAL DE EMPAQUE (lxs.)	BODEG PROVEEDURIA (lxs.)	BODEGA BEST (lxs.)	BODEGA MATERIA PRIMA (lxs.)
	693	50	85	34	134	43	275	179	196	184
	785	123	372	110	43	42	70	131	183	188
	768	400	145		77		33	74	151	153
		298	475		234		346			75
			423		80		21			98
			392		368		16			203
			316		34		60			71
PROMEDIO	748.667	217.750	315.429	72.000	138.571	42.500	117.286	128.000	176.667	138.857
UNIFORMIDAD	0.93	0.23	0.27	0.47	0.25	0.99	0.14	0.58	0.85	0.51

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se puede apreciar en la tabla de la Figura 25 se calcula los valores promedio y también se calcula la uniformidad que para ésta última variable, el ideal es 1 y lo aceptable es >0.5, la fórmula para calcular la uniformidad es:

- $U_1 = \frac{E_{min}}{E_{avg}}$
- Donde:
- $U_1 = Uniformidad\ general$
- $E_{min} = Iluminancia\ mínima$
- $E_{avg} = Iluminancia\ promedio$

Luego de realizar el análisis de la situación del área en estudio, se procede con la descarga de las imágenes tomadas para documentar las áreas donde se realizaron las mediciones fotométricas como también se realiza un documento donde se detalla la labor realizada, como el día cuando se realizó la fotometría, la hora y el equipo usado. En dicho informe se dan las

recomendaciones de las áreas que no cumplen con los estándares de iluminación de acuerdo con la norma INTECO (INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO), 2016) en dado caso la empresa no tenga sus propios estándares de iluminación. En la Figura 26 se visualiza parte del informe que se presenta al cliente:

Figura 26

Informe de fotometría realizado en la empresa Café Rey

Área Empaque

Se realiza medidas en pasillo y áreas de trabajo, los valores medidos se encuentran dentro de los estándares de lo solicitado en la norma. Sin Embargo en el pasillo los luxes están por debajo de 100.

A continuación presentamos imágenes de las medidas tomadas.



Consideraciones:

Como se puede apreciar la medición realizada en pasillo se encuentre por abajo de 100 luxes.

Para las demás áreas las tomas fotométricas realizadas se requiere que cumpla con mas de 300 luxes y el promedio indica 315 luxes

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Luego se envía el informe al cliente y se les presentan los costos que demanda el cambio o mejora de la iluminación en las áreas que no cumplen con el estándar mínimo de acuerdo con la norma de iluminación o al estándar de la empresa en estudio. Es importante mencionar que la empresa LUMISENS posee un departamento de diseño de iluminación y en algunas ocasiones

es requerido realizar diseños de iluminación con el software DIALux (© 2025 DIAL GmbH. All rights reserved., 2025) con el fin de argumentar el cambio de iluminación que comprueba el costo de la inversión. En la Figura 27 se presenta una imagen en 3D de un área modelada.

Figura 27

Diseño de iluminación realizado con software DIALux



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se puede apreciar en la Figura 27 el software posee una amplia librería de objetos, texturas en 3D o bien se pueden construir objetos que permita un diseño con gran precisión.

Ahora bien, después de exponer el sistema actual se procederá al diagnóstico de percepción (Universidad Hispanoamericana, 2018) que en la siguiente sección se definen los instrumentos de acuerdo con lo expuesto en el Capítulo III.

4.2 RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS

La recolección de datos debe abordarse adecuadamente, conlleva enumerar desafíos que fundamenten de forma fácil y sencilla los procesos involucrados. En teoría, la validación de los instrumentos de recolección de datos es de suma importancia, ya que de ahí se desprende la recolección de resultados confiables que sigan la línea de conducción paralelamente con el propósito del proyecto (Luna López, Martínez Cantú, & Patiño Zúñiga, 2024).

4.2.1 Recolección de datos

Recolectar datos para lograr los objetivos propuestos es una de las partes del proceso investigativo que conlleva mayor trabajo al investigador en cuanto a la selección de los instrumentos para el análisis y la evaluación de la información procesada. El resultado de la investigación se fundamentará en la información que se obtenga del producto de los datos recolectados lo que determina parte central del proyecto (Useche , Artigas, Queipo, & Perozo, 2019) .

El dato que se recolecta puede ser una representación numérica, simbólica o alfabética, que expresa información. “Los datos son producto del registro de respuestas, de testimonios o argumentos orales o escritos, de personas o de fuentes directas que están en contacto habitual con la variable que se estudia” (Useche , Artigas, Queipo, & Perozo, 2019, p. 29).

Para una mejor comprensión en cuanto a la recolección de datos, Useche et al. (2019) describe con más detalle:

La recolección de datos consiste en recoger y organizar datos relacionados sobre variables, hechos, contextos, categorías y comunidades involucrados en la investigación, y estos son obtenidos a través de la aplicación de instrumentos que deben ser correctos,

precisos, así como probados. Para toda investigación en ciencias sociales es importante tener claro el proceso, lugar y contexto de la recolección de datos, por ser la fase operativa del diseño de investigación para alcanzar los objetivos deseados. (p. 29)

A continuación, se procede a la evaluación de los instrumentos que se utilizarán para el análisis de los datos que demanda el proyecto.

4.2.2 Instrumento para recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos para el análisis del proyecto, al cual se hizo referencia en el Capítulo III se definirán en esta sección. Para ello, se describen a continuación los siguientes: encuesta, observación y entrevista.

El proyecto demanda recolectar información por medio de preguntas, realizando una encuesta con ítems descriptivos y analíticos, empleando en gran medida la escala de Likert, la cual permite medir el grado de acuerdo o desacuerdo de los participantes en relación con diferentes afirmaciones (Hernández-Sampieri & Paulina Mendoza, 2018).

Para definir la población a la que se le realizará la encuesta se identificará primeramente a empresas del sector de iluminación, personas físicas con experiencia y organizaciones como comités de normalización, así como laboratorios de ensayos de iluminación.

- Tamaño de la muestra

Definir el tamaño de la muestra a usar es un tema complejo ya que existen muchas empresas en la venta de productos de iluminación pero no todas ofrecen asesorías de iluminación que tengan personal capacitado para realizar medidas fotométricas, otro aspecto importante es la facilidad con el que se pueden comprar luxómetros convencionales por lo que se ha vuelto un equipo de

uso frecuente para las industrias donde se dedican a realizar sus propias mediciones que en mucho de los casos los equipos que compran no cuentan con la calidad que permita realizar una medida fiable, o si no, usan Apps de telefonía celular con poco conocimiento a la hora de aplicarlo.

Teniendo en cuenta el tema planteado, se definen el universo, la población y la muestra con el propósito de delimitar el alcance del proceso investigativo. El universo está conformado por todos los profesionales vinculados al ámbito de la iluminación y el diseño lumínico que podrían beneficiarse del uso de un sistema automatizado para la medición y registro de niveles de iluminación, es decir, el conjunto total de individuos con conocimientos técnicos en el área (Hernández Sampieri et al. (2014)).

La población del estudio está constituida por ingenieros, asesores de venta de iluminación, vendedores, diseñadores de iluminación y arquitectos que laboran en empresas dedicadas a los servicios de ventas de iluminación, empresas electromecánicas, empresas consultoras en arquitectura y despachos de diseño lumínico. Estos profesionales participan activamente en la planificación, evaluación y comercialización de soluciones de iluminación en distintos contextos técnicos y comerciales (Tamayo y Tamayo, 2003).

Por su parte, la muestra se conforma por un grupo representativo de dichos profesionales seleccionados intencionalmente, con el fin de recopilar información relevante sobre los requerimientos técnicos y funcionales del prototipo de luxómetro automatizado. Esta muestra permitirá obtener datos válidos y confiables para valorar el diseño, desempeño y aplicabilidad

práctica del dispositivo dentro de los distintos entornos laborales relacionados con el sector de la iluminación (Arias, 2012).

Para definir las variables de la muestra, en la Tabla 7 se visualiza un resumen más amplio.

Tabla 7

Definición de variables de la investigación

Variable	Definición
Universo	Todos los profesionales vinculados al ámbito de la iluminación y el diseño lumínico que podrían beneficiarse del uso de un sistema automatizado para la medición y registro de niveles de iluminación, es decir, el conjunto total de individuos con conocimientos técnicos en el área
Población	<ul style="list-style-type: none"> • La población la constituye un área muy extensa de profesionales y expertos en el área de iluminación que usan un equipo de medición de luz, tales como: • Ingenieros. • Arquitectos. • Comité de normalización de iluminación. • Asesores en la venta de iluminación. • Profesionales en ventas de luminarias. • Diseñadores de áreas de iluminación. • Empresas dedicadas a la venta de productos de iluminación. • Empresas electromecánicas • Empresas consultoras en arquitectura. • Empresas especificadoras.

Variable	Definición
	<ul style="list-style-type: none"> Profesionales de empresas industriales y comerciales en el sector público y privado.
Muestra	<p>Como se puede apreciar la población a la que se pretende alcanzar con la encuesta es un sector muy amplio por lo que definir una muestra mediante un valor absoluto no es posible por lo que se define enviar la encuesta a 40 profesionales tomando en cuenta que podría ser una cantidad de encuestados con conocimiento en el uso de un luxómetro que permita un análisis fehaciente.</p>
Unidad de análisis	<p>Profesionales y expertos en el área de iluminación que se dediquen a realizar asesorías y estudios de iluminación con gran conocimiento en normas de iluminación y estudios de iluminación.</p>

Fuente: De información obtenida del profesor (Medrano Cerdas, 2025)

Diseño del instrumento

Para el desarrollo del presente proyecto se emplearon diversos instrumentos de recolección de datos con el fin de obtener información cuantitativa y cualitativa que permitiera diagnosticar la situación actual del proceso de medición fotométrica en la empresa LUMISENS y validar el funcionamiento del prototipo automatizado. Se analizaron diferentes tipos de instrumentos, que se detallan a continuación:

- Encuesta (E)
- Entrevista (ET)
- Evaluación 360 (E360)
- Estudios de casos (EC)
- Observación (O)

Según Hernández Sampieri et al. (2014), un instrumento de recolección de datos es toda herramienta que permite registrar información relacionada con las variables de estudio de forma sistemática y confiable. En este proyecto se seleccionaron dos instrumentos principales: la encuesta y la observación estructurada. Por lo que se requirió conocer herramientas tecnológicas accesibles en algunas plataformas de internet, tales como:

- Google Forms
- Microsoft Forms
- Survey Forms

Instrumento

El objetivo del instrumento es de recolectar datos lo que permite registrar información relacionada con las variables de estudio de forma sistemática y confiable (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la Investigación (6.^a ed.), 2014). El cuestionario se elaboró con preguntas cerradas tipo Likert, de cinco niveles de valoración (1 = totalmente en desacuerdo a 5 = totalmente de acuerdo), permitiendo medir el grado de aceptación y satisfacción del usuario con los procesos de medición actuales.

De acuerdo con Cisneros-Caicedo et al, (2022), el uso de escalas Likert permite cuantificar actitudes o percepciones mediante la transformación de opiniones subjetivas en valores numéricos que pueden ser analizados estadísticamente. Para lo cual se diseñaron 18 preguntas para explorar las diferentes tecnologías actualmente implementadas y cuanto es el interés de la población sobre la automatización del sistema.

Después de realizar un estudio de las herramientas donde se consideran aspectos de disponibilidad y factibilidad para los usuarios al momento de realizar la encuesta, se determinó

que la herramienta que más se ajusta a la encuesta es Google Forms y donde se integraron las preguntas que se detallan a continuación.

Considerando los aspectos remarcados anteriormente, las preguntas integradas son:

1- Indicar Profesión un oficio:

- Ingeniero(a).
- Arquitecto(a).
- Administrador(a) de empresas.
- Técnico.
- Eléctrico.
- Bachiller en educación media.

2- Edad de la población encuestada

- Entre 18 a 25 años.
- Entre 25 a 35 años.
- Entre 35 a 50 años.
- Mayor a 50 años.

3- ¿Trabaja en el área de iluminación?

- Si ()
- No ()

4- ¿En qué departamento se desarrolla en la empresa donde labora?

- Departamento de ventas.
- Departamento de compras.
- Asesor en iluminación.
- Diseñador de iluminación.

- Todas las anteriores.
- Otro departamento.

5- ¿Cuántos años de experiencia tiene en el sector de iluminación?

- No tengo experiencia.
- 6 meses hasta 1 año
- >1 hasta 3 años.
- >3 hasta 5 años.
- >5 hasta 8 años.
- >8 hasta 10 años.
- >10 años.

6- ¿Ha usado un luxómetro para realizar toma de mediciones fotométricas tanto en áreas exteriores como interiores?

- Si ()
- No ()

7- ¿Qué nivel de conocimiento tiene en mediciones fotométricas y normas de iluminación?

- Nivel básico.
- Nivel intermedio.
- Nivel profesional.
- Nivel experto.

8- ¿En la escala de 1 a 10 cuál es su conocimiento sobre la problemática que genera un luxómetro al momento de realizar una medida fotométrica, por ejemplo, las sombras de la persona que recolecta los datos?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Bajo	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	Alto

9- ¿Qué altura de plano de trabajo es la que se debe posicionar el luxómetro a la hora de realizar una medición en un área de trabajo?

- 80 cms de altura
- 85 cms de altura
- 90 cms de altura
- 95 cms de altura
- De acuerdo con el estándar de cada empresa o al área a medir.

10- ¿Ha realizado mediciones fotométricas con algún luxómetro o alguna aplicación celular (App)?

- Nunca he realizado una medición.
- Mas de una medición fotométrica.
- Mas de 5 mediciones fotométricas.
- Mas de 10 mediciones fotométricas.
- Mas de 15 mediciones fotométricas.
- Mas de 20 mediciones fotométricas.

11- ¿En alguna ocasión ha usado luxómetros que almacene los datos medidos?

- Si ()
- No ()

12- ¿Considera importante que el luxómetro tenga movilidad automática?

- Muy de acuerdo.

- De acuerdo.
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- En desacuerdo.
- Muy en desacuerdo.

13- ¿Qué importancia tiene para usted un luxómetro que almacene datos de las mediciones fotométricas?

- Muy de acuerdo.
- De acuerdo.
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- En desacuerdo.
- Muy en desacuerdo.

14- ¿Considera importante que un luxómetro pueda medir también la temperatura y humedad?

- Muy de acuerdo.
- De acuerdo.
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- En desacuerdo.
- Muy en desacuerdo.

15- ¿Considera importante que el luxómetro pueda tomar fotografías y almacenarlas?

- Muy de acuerdo.
- De acuerdo.
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- En desacuerdo.

- Muy en desacuerdo.

16- ¿Considera importante que un luxómetro pueda generar reportes o informes finales de forma automática?

- Muy de acuerdo.
- De acuerdo.
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- En desacuerdo.
- Muy en desacuerdo.

17- ¿Considera importante un luxómetro con una pantalla donde pueda parametrizar los datos de la empresa y defina umbrales de las medidas según el área a medir?

- Muy de acuerdo.
- De acuerdo.
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- En desacuerdo.
- Muy en desacuerdo.

18- ¿Qué nivel de importancia tiene para usted un luxómetro pueda predefinir parámetros en áreas exteriores o interiores donde considere colores, acabados y tipos de materiales en el entorno a medir?

- Muy de acuerdo.
- De acuerdo.
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- En desacuerdo.
- Muy en desacuerdo.

Las preguntas formuladas en la encuesta van directamente relacionadas a las soluciones que se desean implementar, se realiza a continuación un resumen de las preguntas más relevantes que influyen en el análisis de manera directa a la automatización:

La pregunta 12 ¿Considera importante que el luxómetro tenga movilidad automática?, al ser la movilidad uno de los objetivos del proyecto es de vital importancia conocer la respuesta de los encuestados y el interés que exista un luxómetro que se pueda movilizar de forma autónoma, ya que en el mercado no existe un sistema con esa característica.

La pregunta 13 ¿Qué importancia tiene para usted un luxómetro que almacene datos de las mediciones fotométricas?, conocer el interés de los resultados de la opinión del sector encuestado de almacenar los datos medidos que generen confiabilidad en el proceso de medición de la iluminancia permite solidez al proyecto por ser parte fundamental en el objetivo de lo que se pretende automatizar.

Generar reportes a partir del almacenamiento de datos tal como se formula la pregunta 16: ¿Considera importante que un luxómetro pueda generar reportes o informes finales de forma automática? podría requerir integrar más elementos de interés por lo que demandaría rediseñar más el sistema para incorporar datos de la empresa, elementos del área a medir como lo son colores de las paredes, tipo de piso, altura y estado de las luminarias existentes, entre otros, con el objetivo de formular un reporte o informe más completo donde el cliente pueda valorar cada área por separado y sea de consideración en los resultados de las mediciones en estudio, sin embargo eso se definiría en los resultados de la encuesta.

Por lo tanto, las preguntas propuestas en la encuesta ofrecerán información relevante que definirán la ruta a seguir o mejoras que podrían realizarse dependiendo de los resultados de las preguntas claves diseñadas en el formulario de la encuesta.

Luego de realizar el instrumento de la encuesta donde se describieron las preguntas relacionadas al proyecto, se procede a realizar el instrumento de la observación.

Este instrumento se aplicó durante el proceso de diagnóstico, con el fin de documentar directamente cómo se realizan actualmente las mediciones de iluminación. Se utilizó una lista de cotejo donde se registraron variables observables como: método de posicionamiento del luxómetro, tiempo por medición, condiciones ambientales y errores más frecuentes detectados.

De acuerdo con Ortega (2024), la observación estructurada se basa en criterios y categorías predefinidas que permiten registrar los hechos de manera objetiva y comparable, garantizando confiabilidad en la información obtenida.

La observación se realizó en tres empresas en diferentes áreas, industria de fabricación de café, parqueo en un área exterior y una cancha de fútbol, se realiza una tabla donde se evalúan las dificultades que tiene el sistema, en la Tabla 8 se muestra las consultas que se examinarían en la observación.

Tabla 8

Criterios de evaluación para realizar la observación.

Dpto./área.	Desplazamiento luxómetro	Posicionamiento luxómetro.	Recolección datos.	Recolección evidencias.	Almacenamiento de datos.	Procesamiento mediciones.	Realización de informes.
--------------------	---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------	--------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------------------

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se puede observar en la Tabla 8 se consultarán criterios relacionados a la problemática que tiene el sistema actual y que se intenta automatizar.

Después de exponer a profundidad los instrumentos que se utilizarán en la recolección de datos, se continúa con el análisis del resultado de la encuesta.

- **Resultado de la encuesta**

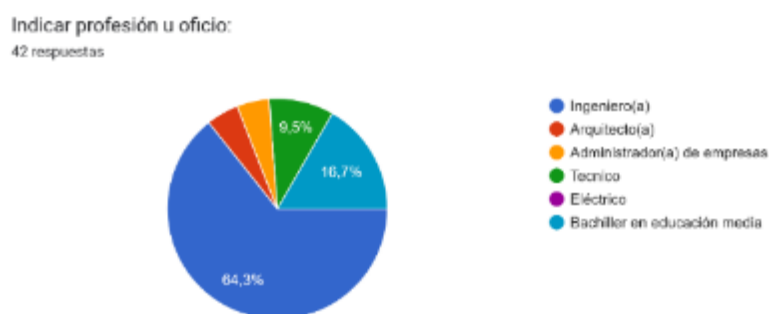
Para el análisis de la encuesta se abordarán las 18 preguntas que se subieron a la plataforma de Google Forms la cual se estudiarán a profundidad los resultados de cada una de ellas.

Pregunta 1

El objetivo de la pregunta se basa en identificar el grado académico del encuestado, para eso se realiza una pregunta abierta.

Figura 28

Pregunta 1: grado académico de los encuestados



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Como se puede apreciar en la Figura 28 se plantea una pregunta abierta que se pueda elegir la profesión o grado académico del entrevistado, ya que el conocimiento del uso de un luxómetro, las funcionalidades y la problemática del sistema actual requiere de una población de personas con grados académicos que conozcan del medio.

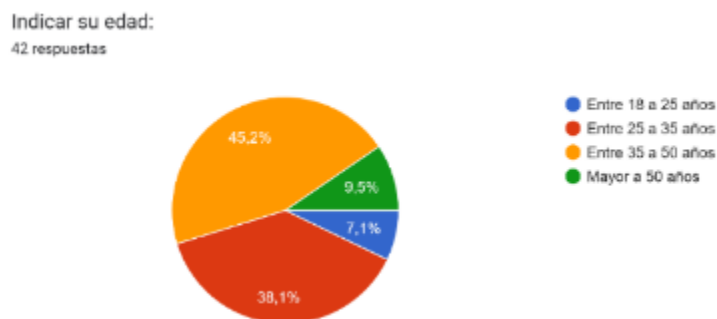
Como se muestra en la Figura 28 el 64.3% de las personas encuestas son ingenieros por lo que es una población que tiene amplios conocimientos a las preguntas que se presentaran más adelante.

Pregunta 2

El propósito de la pregunta 2 es conocer la edad de los encuestados, esto con el fin de analizar que la población entrevistada sea mayor de edad y además determinar una posible experiencia en el sector laboral.

Figura 29

Pregunta 2: edad de la población encuestada



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Como se muestra en la Figura 29 la mayoría de la población encuestada se encuentra en el rango entre 25 y 50 años con un 83.3% por lo que la población encuestada podría evaluarse que tienen experiencia en el área laboral.

Pregunta 3

Con esta pregunta se pretende conocer si la población entrevistada trabaja en el sector de iluminación, se realiza una pregunta abierta de dos selecciones.

Figura 30

Define si el encuestado tiene relación con el sistema



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

La finalidad del proyecto pretende automatizar un luxómetro, lo cual es de gran importancia que la encuesta sea aplicada a población que tenga relación laboral en el sector de iluminación, tal como se aprecia en la Figura 30 el 90.5% de los entrevistados laboran en ese sector por lo cual es imperativo para que la encuesta sea bien aplicada y recabe la información necesaria que de veracidad al análisis.

Pregunta 4

Pregunta abierta que tiene como objetivo conocer el departamento donde trabaja la persona encuestada, para filtrar cuales de los encuestados tienen relación directa con fotometrías y manejos de luxómetros.

Figura 31

Grafica que muestra el área laboral del encuestado



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

De acuerdo con lo indicado por el personal de la empresa LUMISENS, las fotometrías son realizadas por los asesores de ventas, diseñadores de iluminación y, en algunos casos, personal del departamento de ventas, por tanto, como se muestra en la Figura 31 si sumamos los encuestados de esos tres departamentos da un total de 55.3% del total de los encuestados; sin embargo, eso no indica que los demás departamentos asociados a la pregunta no realicen esas funciones.

Esta pregunta permitirá al análisis general, confiabilidad en la encuesta con respecto a las preguntas en cuestión y que el aporte de la información de los encuestados sea de gran valor en el análisis final.

Pregunta 5

Pregunta de selección donde busca filtrar a las personas encuestadas en materia de experiencia en el sector de iluminación con la finalidad de medir el conocimiento de los encuestados.

Figura 32

Experiencia del encuestado en el sector de iluminación.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Como se puede ver en la Figura 32, más del 50% de los encuestados cuentan con más de 5 años de experiencia en el sector de iluminación si sumamos los rangos que parten desde la respuesta 5 hasta la 7 se obtiene el 57.9%. La experiencia que tienen los encuestados en el área de iluminación permitirá que las respuestas tengan un alto porcentaje de confiabilidad.

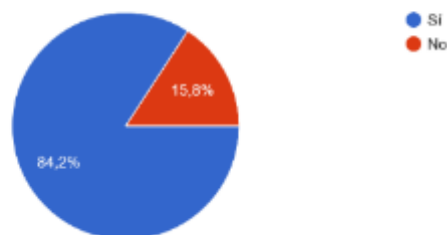
Pregunta 6

Tiene como objetivo saber si la población encuestada ha usado un luxómetro, esto con la finalidad de definir si la población encuestada conoce la problemática que se genera con el sistema actual.

Figura 33

Conocimiento del uso del luxómetro

¿Ha usado un luxómetro para realizar toma de mediciones fotométricas tanto en áreas exteriores como interiores?
38 respuestas



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

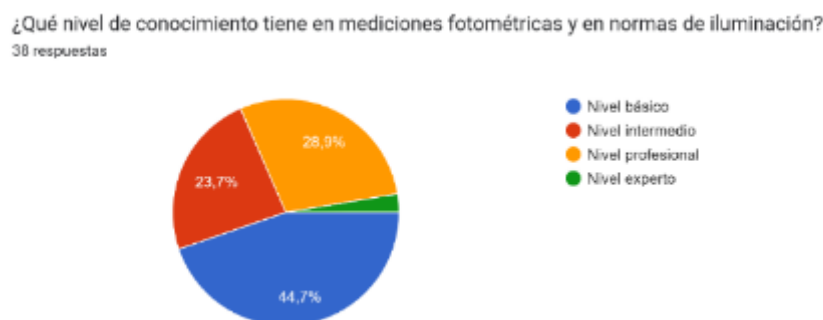
Es de suma importancia que las personas encuestadas tengan relación directa con el conocimiento de medidas fotométricas, como se muestra en la Figura 33, se obtiene un porcentaje de 84.2% de respuestas positivas en cuanto al uso de un luxómetro, lo que permite tener datos positivos en las preguntas que más adelante se realizaran en cuanto a las mejoras que pretende el alcance de la automatización del sistema.

Pregunta 7:

El objetivo de la pregunta que se muestra en la Figura 34 es saber el conocimiento del encuestado en cuanto a mediciones fotométricas y normas de iluminación, ya que la encuesta se fundamenta en la automatización de un luxómetro.

Figura 34

Conocimiento de mediciones fotométricas y normas de iluminación.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

En la Figura 34 se muestra 4 respuestas, nivel básico, nivel intermedio, nivel profesional y nivel experto siendo el nivel básico el mayor porcentaje con un 44.7%, sin embargo, entre el nivel intermedio y el nivel profesional se logra un 52.6%, lo que permite contar con encuestados que conocen de mediciones fotométricas y normas de iluminación.

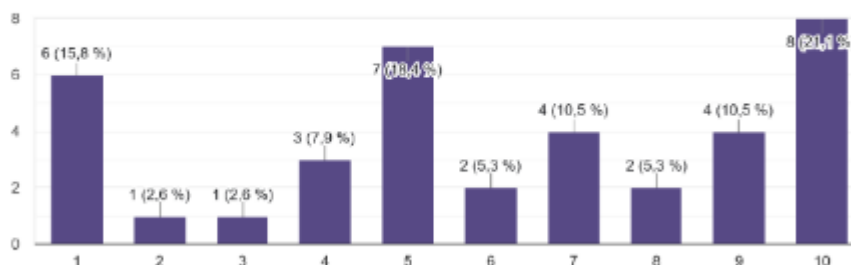
Pregunta 8

Pregunta que define parte de la problemática que tiene el sistema actual, ya que el usuario genera sombras para poder obtener los datos que se están midiendo por lo que es de interés conocer si también les genera esa problemática cuando han realizado mediciones fotométricas.

Figura 35

Gráfico de resultados de problemática de sombras

¿En la escala de 1 a 10 cuál es su conocimiento sobre las problemática que genera un luxómetro al momento de realizar una medida fotométrica, por e...s sombras de la persona que recolecta los datos?
38 respuestas



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

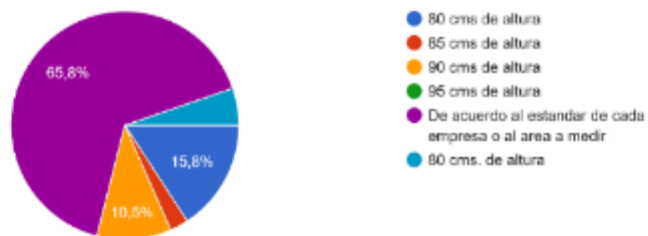
La pregunta que se muestra en la Figura 35 es parte de la problemática que se pretende solucionar, se realiza con el fin de evaluar el conocimiento que tienen los encuestados en cuanto a las sombras que genera el usuario a la hora de realizar la recolección de los datos, de 38 encuestados 8 de ellos (21.1%) marcan la opción máxima de conocimiento, esto indica que dicha problemática la han tenido cuando han realizado toma de mediciones con un luxómetro manual.

Pregunta 9

El objetivo de la pregunta 9 es definir la altura ideal a la hora de ubicar el sensor de luz que va a realizar la toma de la medida y así poder determinar en la maqueta la elevación que se le debe dar al sensor de luz.

Figura 36*Altura de plano de trabajo*

¿Qué altura de plano de trabajo es la que se debe posicionar el luxómetro a la hora de realizar una medición en un área de trabajo?
38 respuestas



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Como se muestra en la Figura 36, el 65.8% de los encuestados indican que la altura es de acuerdo con el estándar de cada empresa o al área a medir. A pesar de que por defecto los programas de diseño indican que 80cms es la altura de medida de plano de trabajo, las mediciones deben realizarse en las estaciones de trabajo y eso va a depender de la altura de las mesas de trabajo que pueden ser también escritorios, plataformas de las maquinas, en fin, adaptar el sistema a diferentes alturas para cubrir las necesidades que demanda el área a medir es de consideración a implementar en el sistema.

Pregunta 10

El objetivo de la pregunta es identificar la cantidad de encuestados que hayan realizados medidas fotométricas con un luxómetro o alguna aplicación por medio del teléfono celular (App).

Figura 37

Conocimiento sobre el uso de un luxómetro o aplicación celular



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

A pesar de que hay un alto porcentaje de encuestados que contestan que nunca han realizado una medición fotométrica, se tiene un 57.9% de los encuestados que han realizado más de una medición, y de esos se obtiene un 21.1% de encuestados que han realizado más de 20 mediciones de acuerdo con la Figura 37 por lo que se puede comprender que de las 38 personas encuestadas 8 de ellos han realizado más de 20 mediciones.

Pregunta 11

Pregunta abierta donde se contesta con 2 opciones, sí o no, con el fin de saber si las personas encuestadas han usado luxómetros que puedan almacenar los datos medidos, ya que constituye parte del alcance que tiene el proyecto y es de consideración conocer si hay luxómetros que tengan esas funcionalidades.

Figura 38*Luxómetro que almacena datos*

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Como se puede apreciar en la Figura 38, el 76.3% de encuestados, que corresponde a 29 personas, no han usado luxómetros que almacenen los datos medidos; sin embargo, el 23.7% de los encuestados, que corresponde a 9 usuarios, si han usado un luxómetro que guarda datos, por lo que se define que en el mercado ya existen luxómetros que puedan guardar datos.

Pregunta 12

Pregunta de escala de Likert donde se solicita indicar la importancia de que el sistema cuente con movilidad automática, la cual es parte de los alcances del proyecto por lo que es de gran interés conocer cuáles son las respuestas de los encuestados para el análisis de lo que se pretende en la automatización.

Figura 39*Movilidad automática*

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

El total de los encuestados solo responden las tres primeras respuestas en la escala de Likert siendo el porcentaje de muy de acuerdo el mayor con un 39.5% como se visualiza en la Figura 39, por lo que se puede analizar que la movilidad automática del sistema es una solución que interesa al sector como respuesta posible a la generación de sombras al momento de la toma de mediciones.

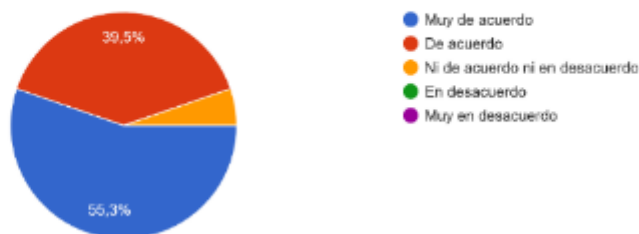
Pregunta 13

El objetivo de la pregunta es conocer el interés que tienen los encuestados de que el sistema de automatización almacene los datos medidos, para esta pregunta se usa el escalamiento de Likert.

Figura 40

Luxómetro que almacene los datos medidos

¿Qué importancia tiene para usted un luxómetro que almacene datos de las mediciones fotométricas?
38 respuestas



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

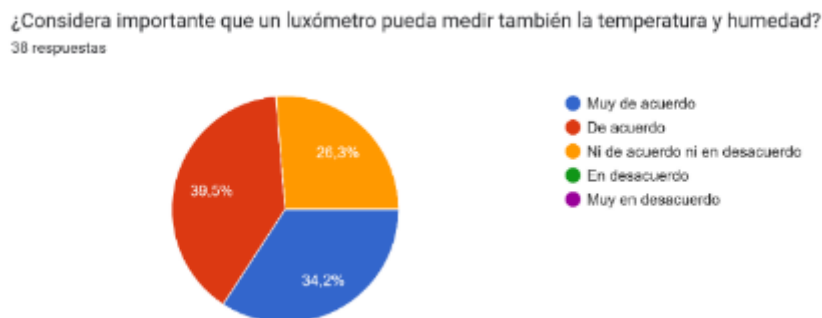
Evidentemente se tiene un porcentaje muy alto entre muy de acuerdo y de acuerdo el cual sumado los porcentajes de las dos respuestas obtenemos un 94.8% de acuerdo con la Figura 40, por tanto, se puede considerar que el almacenamiento de datos al ir realizando las medidas fotométricas es de importancia para la población encuestada.

Pregunta 14

El objetivo que busca la pregunta que se muestra en la Figura 41 es determinar las condiciones climáticas en cuanto a la temperatura y humedad del área a medir esto para no exponer al sistema a condiciones inadecuadas para su buen funcionamiento como también que pueda realizar las mediciones de manera correcta de acuerdo con el ambiente donde se vaya a exponer.

Figura 41

Medición de la temperatura y humedad



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Como se visualiza en la Figura 41 se usa el escalamiento de Likert para las respuestas de la pregunta que busca obtener información sobre la importancia que la automatización pueda medir tanto la temperatura como la humedad obteniendo los mayores porcentajes en las respuestas muy de acuerdo y de acuerdo y que este último es el mayor con un 39.5% por lo que se puede interpretar que agregarle esa funcionalidad al proyecto es de bastante importancia.

Pregunta 15

La pregunta que se realiza utilizando la escala de Likert busca información sobre la importancia de obtener evidencias por medio de fotografías que muestren el área que se está midiendo y así valorar la posibilidad de integrarla al reporte final, esto con el propósito que en el futuro se pueda localizar por medio de una imagen el punto exacto de la medición para replicar otra medición.

Figura 42

Sistema que pueda tomar fotografías y almacenarlas.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

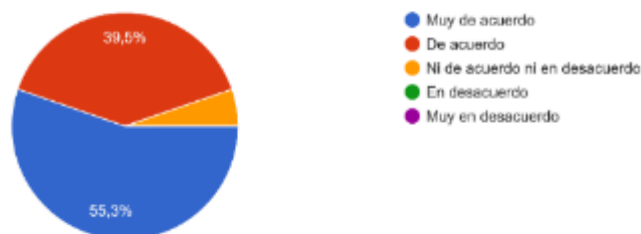
Las personas encuestadas consideran que están de acuerdo y muy de acuerdo en cuanto a que el sistema de automatización pueda tomar fotografías y almacenarlas, tal como se puede ver en la Figura 42 por lo que la integración al sistema de una cámara fotográfica es de consideración para la automatización.

Pregunta 16

Parte de los alcances que se describen en el capítulo 1 es que el sistema de automatización pueda generar reportes finales para cerrar la brecha entre el sistema actual y lo que se requiere con la automatización, por lo que la generación de informes o reportes es parte integral del proyecto y lo que se muestra en la pregunta 16.

Figura 43*Generación de informes o reportes finales*

¿Considera importante que un luxómetro pueda generar reportes o informes finales de forma automática?
38 respuestas



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Como se aprecia en la Figura 43 el 55.3% de las personas encuestadas responden muy de acuerdo por lo que el sistema pueda generar reportes o informes finales es parte fundamental de la automatización y lo que se considera realizar en la automatización del sistema.

Pregunta 17

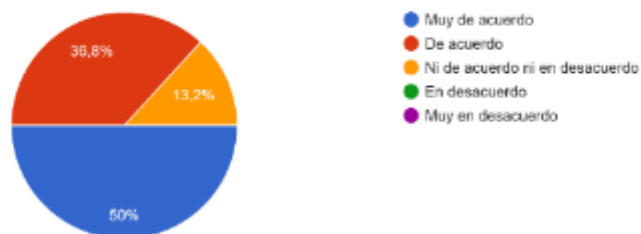
Parte de la automatización busca integrar una interfaz gráfica donde se pueda parametrizar los datos y definir rangos del área a medir donde vaya a ser considerado en los reportes finales para determinar los cumplimientos o no cumplimientos según los resultados obtenidos.

Figura 44

Parametrización de los datos y definición de umbrales

¿Considera importante un luxómetro con una pantalla donde pueda parametrizar los datos de la empresa y defina umbrales de las medidas según el área a medir?

38 respuestas



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

En la Figura 44 muestra un 86.8% de los encuestados que responden muy de acuerdo y de acuerdo en cuanto a la importancia de parametrizar los datos de la empresa y que se pueda definir umbrales de las medidas a realizar esto con el fin de evaluar el cumplimiento o no cumplimiento del área medida.

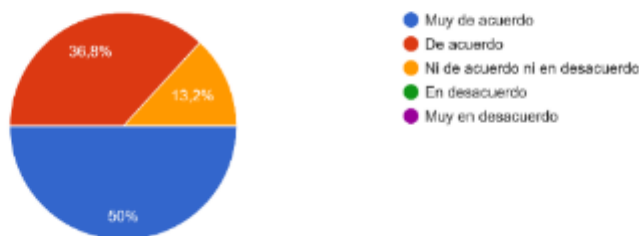
Pregunta 18

Esta pregunta tiene como objetivo principal conocer el interés de la población encuestada en cuanto a la importancia de que el sistema de automatización pueda seleccionar si el área a medir es un área interior o exterior y analice el medio donde se va a realizar la fotometría.

Figura 45

Parámetros según las áreas a medir

¿Qué nivel de importancia tiene para usted un luxómetro pueda predefinir parámetros en áreas exteriores o interiores donde considere colores, acabados y tipos de materiales en el entorno a medir?
38 respuestas



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Análisis de resultados:

Los profesionales encuestados en el área de iluminación consideran muy de acuerdo con un 50% el que se pueda predefinir parámetros del medio donde se van a realizar las mediciones sin tomar en cuenta el 36.8% que se encuentran de acuerdo, según se muestra en la Figura 45 por lo que cumplir con ese alcance demostrará parte de la automatización del sistema.

Después del análisis de la encuesta en cuanto a las 18 preguntas realizadas a 38 personas que demuestran conocimiento de la problemática del sistema actual se puede definir que la automatización del sistema en cuanto a movilidad autónoma, recolección de datos, realización de informes o reportes, entre otros, se considera importante de acuerdo al análisis de las gráficas y respuestas obtenidas en la encuesta realizada en la plataforma Google Forms, por lo tanto, se procede a realizar el análisis de la observación en la siguiente sección.

- **Observación**

Se realizará una observación participativa y no estructurada visitando empresas del sector industrial, comercial o de entretenimiento según sea el caso, esto con el fin de adquirir conocimiento del sistema actual que pueda ser utilizado en el desarrollo de la automatización.

Fotometría en empresa Café Rey

La empresa café Rey requiere realizar una fotometría luego de hacer cambios de algunas luminarias para mejorar los niveles de iluminación en sus procesos productivos y así cumplir con los estándares de iluminación por lo que solicita a la empresa LUMISENS realizar una fotometría en diferentes departamentos de esa industria.

Se atiende a la solicitud de la empresa por lo que se procede a realizar la fotometría solicitada realizando una observación participante donde se utilizan los equipos de medición actuales, para lograr la asesoría de iluminación se plantearan las siguientes consideraciones:

En la Tabla 9 se evaluaron los aspectos que se consideran dentro del cierre de brechas que se pretende con la automatización:

Tabla 9

Forma de medir lux en empresa Café Rey

Dpto./área.	Desplazamiento luxómetro	Posicionamiento luxómetro.	Recolección datos.	Recolección evidencias.	Almacenamiento de datos.	Procesamiento mediciones.	Realización de informes.
Torre Facción	Manual	Trípode	Cámara fotográfica	Fotografías	Fotografías	Computadora	Computadora

Molino	Manual	Trípode	Cámara fotográfica	Fotograf ías	Fotografías	Computad ora	Computa dora
Bodega materia prima	Manual	Trípode	Cámara fotográfica	Fotograf ías	Fotografías	Computad ora	Computa dora
Despac ho	Manual	Trípode	Cámara fotográfica	Fotograf ías	Fotografías	Computad ora	Computa dora
Bodega empaqu e	Manual	Trípode	Cámara fotográfica	Fotograf ías	Computador a	Computad ora	Manual

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se visualiza en la Tabla 9 se valoran los siguientes aspectos:

- Desplazamiento del luxómetro: Como ya se ha mencionado el luxómetro actual se desplaza de manera manual.
- Posicionamiento del luxómetro: El luxómetro se posiciona en un trípode el cual por medio de una cinta métrica se eleva a la altura que se requiere realizar la medida.
- Recolección de datos: Los datos se recolectan por medio de la cámara fotográfica de un teléfono celular, sin embargo, se debe ir apuntando la cantidad de mediciones que se realizan por departamento para que a la hora de descargar las imágenes se pueda identificar la imagen donde contiene el dato medido y que corresponda al departamento medido.
- Recolección de evidencias: Por medio de fotografías por teléfono celular se recaban las fotografías al área donde se está realizando la medición.

- Almacenamiento de datos: Estos se realizan al mismo momento de la recolección de los datos ya que la forma de almacenarlos es por medio de la cámara fotográfica de esa forma se tendrán los datos para luego procesarlos en la computadora.
- Procesamiento de las mediciones: Para procesar las mediciones se debe realizar en la oficina por medio del programa Excel se traslada la información de las medidas que se recabaron por medio de las fotografías y se genera un cuadro donde se evalúan los valores promedios y la uniformidad como también la descarga de las imágenes a la computadora.
- Realización de informes finales: Luego de obtener los resultados de los valores promedios y la uniformidad se realiza un informe final donde se describe generalidades del día y la hora en Realización de informes finales: que se realiza la medición, los instrumentos utilizados, las imágenes de referencia y las recomendaciones por cada departamento medido.

Como se muestra en el resumen anterior de cada aspecto en estudio, el sistema es totalmente manual el cual en la recolección de datos se vuelve inexacto o poco ordenado y el procesamiento de la información es lenta, en la Figura 46 se muestra algunas imágenes de las mediciones en las diferentes áreas en las cuales se realizaron las mediciones fotométricas.

Figura 46

Fotometría para la empresa Café Rey



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Fotometría en empresa AERIS HOLDING (parqueo área de salidas)

La empresa LUMISENS es proveedora de productos de iluminación de la concesionaria AERIS HOLDING, empresa que administra el aeropuerto Juan Santa María, por lo que solicitan realizar una medición fotométrica del parqueo de salidas ya que recientemente cambiaron su sistema de iluminación

El parqueo de salidas es en un área exterior y donde las luminarias se ubican a una altura de 8m. ubicadas en un poste de metal cuadrado de 5x5 pulgadas, la observación es de carácter descriptivo, en la Tabla 10 se puede verificar los instrumentos que se usan para realizar la fotometría.

Tabla 10*Forma de medir lux en parqueo exterior aeropuerto Juan Santamaría*

# medic ión	Desplazam iento luxómetro	Posicionam iento luxómetro.	Recolec ción datos.	Recolec ción evidenci as.	Almacenam iento de datos.	Procesami ento medicione s.	Realizaci ón de informes .
1	Manual	Manual	Cuadern o	Cámara fotográfi ca	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
2	Manual	Manual	Cuadern o	Cámara fotográfi ca	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
3	Manual	Manual	Cuadern o	Cámara fotográfi ca	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
4	Manual	Manual	Cuadern o	Cámara fotográfi ca	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
5	Manual	Manual	Cuadern o	Cámara fotográfi ca	Cuaderno	Computad ora	Computa dora

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En la Tabla 10 se visualiza los instrumentos que se usan para realizar la fotometría y se describe cada proceso a continuación:

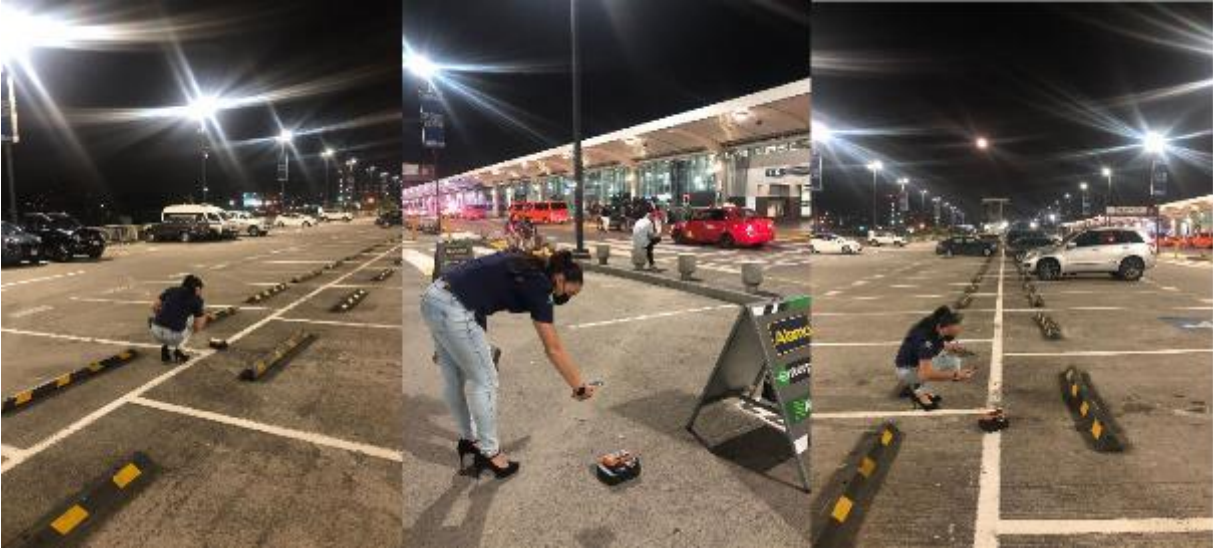
- Desplazamiento del luxómetro: Como ya se ha mencionado el luxómetro actual se desplaza de manera manual.
- Posicionamiento del luxómetro: El luxómetro se posiciona a nivel de piso por demanda del cliente.

- **Recolección de datos:** Los datos se recolectan por medio de un cuaderno y se van apuntando las medidas que genera el luxómetro de acuerdo con las diferentes mediciones y se enumeran.
- **Recolección de evidencias:** Por medio de fotografías por teléfono celular se recaban las fotografías al área donde se está realizando la medición.
- **Almacenamiento de datos:** Estos se realizan al mismo momento de la recolección de los datos ya que la forma de almacenarlos es por medio del cuaderno de esa forma se tendrán los datos para luego procesarlos en la computadora.
- **Procesamiento de las mediciones:** Para procesar las mediciones se debe realizar en la oficina por medio del programa Excel se traslada la información de las medidas que se recabaron por medio del cuaderno y se genera un cuadro donde se evalúan los valores promedios y la uniformidad como también la descarga de las imágenes a la computadora.
- **Realización de informes finales:** Luego de obtener los resultados de los valores promedios y la uniformidad se realiza un informe final donde se describe generalidades del día y la hora en que se realiza la medición, los instrumentos utilizados, las imágenes de referencia y las recomendaciones por cada departamento medido.

En la Figura 47 se visualiza imágenes de una colaboradora de la empresa LUMISENS quien realizó la toma de mediciones, cabe destacar que las mediciones fueron realizadas a nivel de piso por solicitud del cliente.

Figura 47

Fotometría realizada en el parqueo del aeropuerto Juan Santamaria



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Fotometría en el estadio de Zapote

El Comité Cantonal de Deportes de San José CCDR solicita realizar una medición fotométrica para verificar la intensidad de iluminación por el cambio de todo el sistema de iluminación, del estadio de Zapote, la empresa LUMISENS realiza el estudio y para este caso la observación va a realizarse de índole participativo. En la Tabla 11 se describe las variables que se consideran aspectos en el análisis de brecha y que se pretenden cumplir con la automatización.

Tabla 11*Forma de medir lux en el estadio de Zapote*

# medic ión	Desplazam iento luxómetro	Posicionam iento luxómetro.	Recolec ción datos.	Recolec ción evidenci as.	Almacenam iento de datos.	Procesami ento medicione s.	Realizaci ón de informes .
1	Manual	Trípode	Cuadern o	Fotograf ías	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
2	Manual	Trípode	Cuadern o	Fotograf ías	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
3	Manual	Trípode	Cuadern o	Fotograf ías	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
4	Manual	Trípode	Cuadern o	Fotograf ías	Cuaderno	Computad ora	Computa dora
5	Manual	Trípode	Cuadern o	Fotograf ías	Cuaderno	Computad ora	Manual

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En la Tabla 11 se visualiza los instrumentos que se usan para realizar la fotometría y se describe cada proceso a continuación:

- Desplazamiento del luxómetro: Como ya se ha mencionado el luxómetro actual se desplaza de manera manual.
- Posicionamiento del luxómetro: El luxómetro se posiciona a nivel de piso por demanda del cliente.
- Recolección de datos: Los datos se recolectan por medio de un cuaderno y se van apuntando las medidas que genera el luxómetro de acuerdo con las diferentes mediciones y se enumeran.

- **Recolección de evidencias:** Por medio de fotografías por teléfono celular se recaban las fotografías al área donde se está realizando la medición.
- **Almacenamiento de datos:** Estos se realizan al mismo momento de la recolección de los datos ya que la forma de almacenarlos es por medio del cuaderno de esa forma se tendrán los datos para luego procesarlos en la computadora.
- **Procesamiento de las mediciones:** Para procesar las mediciones se debe realizar en la oficina por medio del programa Excel se traslada la información de las medidas que se recabaron por medio del cuaderno y se genera un cuadro donde se evalúan los valores promedios y la uniformidad como también la descarga de las imágenes a la computadora.
- **Realización de informes finales:** Luego de obtener los resultados de los valores promedios y la uniformidad se realiza un informe final donde se describe generalidades del día y la hora en que se realiza la medición, los instrumentos utilizados, las imágenes de referencia y las recomendaciones por cada departamento medido.

En la Figura 48 se presentan algunas imágenes descriptivas de la toma de medidas en el estadio de Zapote.

Figura 48

Medición fotométrica en estadio de zapote



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

- **Entrevista**

En cuanto a la entrevista no fue planificado en el capítulo III por lo tanto no desarrollan los instrumentos, consecuentemente la información recabada en la encuesta y en la observación es suficiente para realizar el siguiente análisis de brecha.

4.3 ANÁLISIS DE BRECHAS

Un análisis de brecha el cual se deriva del anglicismo GAP es muy conocida y usada en el desarrollo de nuevos proyectos, ejecución y análisis de nuevos sistemas de gestión, de acuerdo con lo anterior, la metodología que realiza el análisis GAP es el alcance o meta deseado para la mejora de un proceso o sistema comparado con lo que cuenta la organización actualmente (Calixto Gómez, 2021).

En la Figura 49 se puede ver un diagrama de bloques que representa un análisis de brechas.

Figura 49

Diagrama de bloques GAP



Fuente: De información obtenida de (Calixto Gómez, 2021)

Según Calixto Gómez (2021) un análisis de brechas o GAP se puede representar en cuatro etapas:

Análisis de la situación actual: como ya se ha mencionado anteriormente el sistema actual no cuenta con movilidad autónoma, no almacena información de forma automática, no genera notificaciones ni tampoco genera reportes.

Definición de la situación deseable: se pretende lograr que el sistema tenga movilidad autónoma controlado por alguna aplicación como Telegram (Heredero Estebaranz, 2020), también cuando el sistema genere las mediciones fotométricas pueda almacenarlas en una base de datos MySQL (© 2026 Oracle, 2026) que pueda generar visualizaciones por Grafana (Copyright 2026 © Grafana Labs, 2026) y por último que genere un reporte al cliente final.

Determinar la brecha: para poder cerrar los aspectos faltantes propuestos es de gran importancia definir de cómo construir el hardware del sistema que va a movilizar los sensores, definir los sensores a usar y una parte muy importante es que tipo de controlador o microprocesador se ajusta a las demandas de la definición de la situación deseable y que se logre comunicar todas

las partes que se integraran por medio del software que permita la ejecución del alcance de una manera fácil y eficaz.


La ejecución de la brecha: para poder ejecutar el sistema automatizado se debe analizar elementos tanto de hardware como de software, lo que permitirá que el sistema se movilice de manera autónoma, por tanto, debe ser construido con material liviano para que no se tenga que usar fuentes de energía que demanden mucho voltaje y poder utilizar un sistema de almacenamiento de energía que pueda ofrecer autonomía suficiente para lograr los objetivos planteados. Por parte del sistema de control y software se pretende usar el microprocesador Raspberry Pi 4 (Raspberry Pi, 2025) el cual ofrece sistemas I²C (©2026 Analog Devices, Inc. All Rights Reserved, 2021) de conexión, comunicación high dúplex con Apps, conexión con páginas web para generar notificaciones, pantallas Touch screen (ORIENT DISPLAY, 2022) para integrar al sistema donde se puedan visualizar una interfaz gráfica y de ahí se pueda controlar el sistema.

En la Tabla 12 se muestra cómo se pretende reducir la brecha entre el sistema actual y la automatización.

Tabla 12*Reducción de la brecha*

Situación actual	Brecha	Reducción de brecha
Toma de medidas manual	Almacenamiento de mediciones	
No tiene movilidad autónoma	Movilidad automática y autónoma.	
Recolección de datos manual	Recolección de datos por medio de Telegram	
No almacena información	Almacenamiento por medio de base de datos MySQL	
No mide temperatura y humedad	Recolecta temperatura y humedad cuando realiza la medición.	
No realiza reportes o informes.	Realizar reportes y almacenarlos.	
No genera fotografías.	Generar fotografías y almacenarlas como parte de la evidencia.	
No genera notificaciones en sitios web	Generar notificaciones en algún sitio web	

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

 Propuesta positiva para cerrar la brecha.

✘ No forma parte de los alcances debido a que no es una herramienta necesaria para el desarrollo del proyecto.

Luego de realizar la encuesta, la observación y el análisis de brechas, se procede a realizar el Capítulo V donde se abordarán temas de diseño y ejecución del proyecto tomando en cuenta los análisis realizados en el capítulo IV.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se describe el proceso de diseño y desarrollo del prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico y almacenamiento de datos, elaborado para la empresa LUMISENS durante el año 2025.

En primer lugar, se presenta la arquitectura general del sistema, abordando los componentes principales que lo conforman y su interconexión. Posteriormente, se describen los aspectos técnicos relacionados con el diseño del circuito de medición de iluminancia, la estructura robótica empleada para el desplazamiento del sensor y el desarrollo del algoritmo encargado de gestionar la toma y almacenamiento de datos.

Finalmente, se incluyen las consideraciones de calibración, pruebas preliminares y ajustes realizados durante el proceso de implementación, con el propósito de garantizar un desempeño óptimo y confiable del prototipo en su aplicación práctica dentro del entorno de trabajo de la empresa LUMISENS.

5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

El diseño del sistema propuesto constituye la base técnica del proyecto, ya que integra los componentes electrónicos, mecánicos y de software necesarios para el desarrollo del luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento y almacenamiento de datos. El propósito de esta etapa es transformar los requerimientos definidos en el análisis del problema en una solución funcional y eficiente que permita a la empresa LUMISENS mejorar sus procesos de medición fotométrica mediante la automatización.

De acuerdo con Bahamonde Chicaiza (2020), el diseño de un sistema electrónico debe orientarse a la eficiencia funcional y a la viabilidad técnica, considerando la integración de los

diferentes subsistemas que lo conforman, en este sentido, el diseño del prototipo se estructuró en tres áreas principales: el diseño mecánico, el diseño electrónico y el diseño del software, los cuales corresponden a los principales criterios del diseño y se detallan a continuación.

Diseño mecánico:

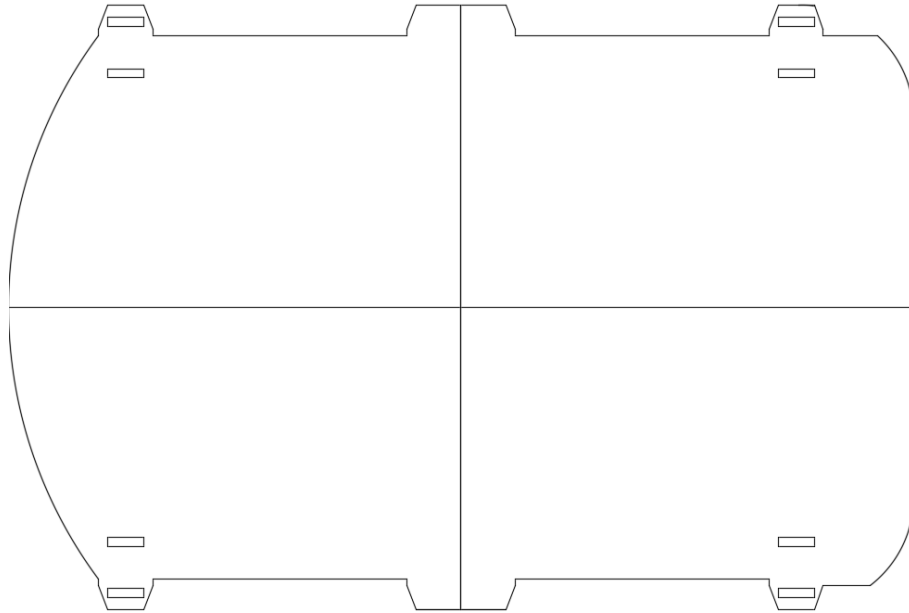
El subsistema mecánico se compone de un chasis fabricado en PVC con una dimensión de 300 x 200 x 3 mm, sobre el cual se instalaron cuatro ruedas tipo RMR impulsadas por motores de corriente directa (DC) que permiten el desplazamiento del robot en superficies planas según Ramos et al. (2010). Se posicionará otra lamina de PVC de 300 x 200 x 3 mm elevándola a una altura de 45 mm para darle rigidez al chasis, en medio de esas dos laminas se posicionarán el sistema de potencia que dará movimiento al sistema, a partir de la segunda plataforma se elevará otra plataforma donde se ubicará el microprocesador Raspberry Pi 4, la pantalla Touch Controller, la batería de alimentación del Raspberry Pi 4, la cámara y los sensores ultrasónicos HC-SR04. A partir de la segunda plataforma se incorporará una estructura de soporte (tubo PVC) con una altura aproximada de 80 centímetros NPT (Muñoz Fica, 2020), donde se ubica el sensor de iluminación para realizar las mediciones fotométricas sin interferencia de sombras.

Este diseño busca garantizar la estabilidad del sistema y la correcta distribución del peso de los componentes, manteniendo un centro de gravedad adecuado para evitar vuelcos durante el desplazamiento. BBC NEWS MUNDO (2021) destaca en su investigación sobre el robot Perseveran que la elección del tipo de rueda y la disposición de los motores son factores determinantes en la estabilidad cinemática de los robots móviles, por lo que se seleccionó un sistema de tracción independiente controlado mediante un módulo de potencia.

En la Figura 50 se muestra el plano en 2D del chasis que se utilizará en la construcción del robot.

Figura 50

Plano del chasis



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Para la fabricación de la estructura mecánica del sistema encargado del desplazamiento del sensor, se utilizaron cuatro motores de corriente continua (DC), los cuales fueron instalados sobre una lámina de PVC con dimensiones de $300 \times 200 \times 3$ mm, conforme a lo descrito previamente. Con el fin de soportar la tercera plataforma del prototipo, donde se ubicaron la pantalla de visualización, el microprocesador Raspberry Pi 4, la batería del sistema de control, los sensores ultrasónicos y el sensor de temperatura y humedad, se diseñaron y fabricaron cuatro soportes de PVC, colocados en las esquinas de la estructura, permitiendo elevar dicha plataforma a una altura de 255 mm respecto al chasis.

Adicionalmente, para posicionar el sensor de iluminación BH1750 a la altura requerida para las mediciones fotométricas, se empleó un tubo de PVC con una longitud de 680 mm, el cual se fijó a partir de la segunda plataforma ubicada sobre el chasis. Esta configuración estructural garantiza estabilidad mecánica, adecuada distribución de los componentes electrónicos y una correcta alineación del sensor durante el proceso de medición. En la Figura 51 se muestra la disposición final de la estructura del prototipo.

El uso de materiales plásticos como el PVC en estructuras ligeras para sistemas mecatrónicos y robóticos es una práctica común, debido a su resistencia mecánica, bajo peso y facilidad de manufactura (Budynas & Nisbett, 2020).

Figura 51

Estructura del sistema



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Diseño electrónico

El diseño electrónico contempla los elementos necesarios para la adquisición de datos, control de movimiento, procesamiento y visualización de la información. El sistema se estructura en los siguientes bloques funcionales:

Unidad de control principal: La unidad de control del sistema debe cumplir con algunas consideraciones importantes de las cuales se describen a continuación:

- ✓ El controlador tiene capacidades para implementar, controlar y administrar una base de datos e interfaz gráfica local.
- ✓ El controlador permite lenguaje de programación de alto nivel con facilidades para el manejo de bases de datos e interfaz gráfica.
- ✓ El controlador tiene la capacidad de crear y visualizar dashboards para ser proyectadas a una pantalla.
- ✓ Capacidad de almacenamiento local.
- ✓ Bajo costo.

De acuerdo con lo anterior, Raspberry Pi 4, cumple con esos criterios por lo que será la unidad de control principal encargada de procesar la información, ejecutar los algoritmos de medición y gestionar la interfaz gráfica,

En la Figura 52 se visualiza la placa Raspberry Pi 4 para una mejor comprensión de lo antes descrito.

Figura 52

Módulo de batería UPS para Raspberry Pi 4



Fuente: De información obtenida de (Raspberry Pi, 2025)

Puente H L298N: controlador de potencia para los motores DC, que permite controlar el movimiento de las ruedas y la velocidad de desplazamiento.

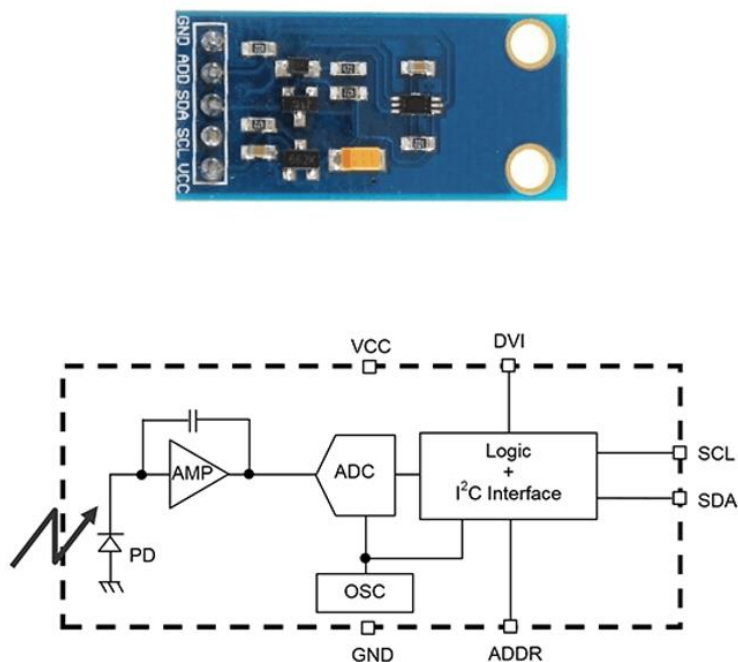
Sensores: De acuerdo con el análisis realizado en el capítulo II en la sección de contexto teórico el sensor de iluminación BH1750 es el que más conviene para los intereses del proyecto según la evaluación realizada en la Tabla 4, en cuanto al sensor de temperatura y humedad el SHTC3 es un sensor de alta precisión y utiliza la interfaz I²C ya que mide la humedad con un error del 2% y 0.2 °C el error de temperatura (Sendín Montero, 2021), para el sensor que detecta obstáculos se elige el sensor ultrasónicos del tipo HC-SR04 para que el robot no colisione con algún objeto como sistema de seguridad, a pesar que existen otro tipo de sensores de proximidad como los infrarrojos o del tipo de fotorresistencia como sensor de proximidad (UNIVERSAL

ROBOTS, 2023), el sensor ultrasónico es el que más se adapta al proyecto por su fácil instalación y porque crean frecuencias sonoras altísimas detectando objetos por el eco (reflexión), muy similar con el modo de localización de murciélagos y delfines.

En la Figura 53 muestra la arquitectura del diagrama de bloques de los componentes del módulo completo en el que se encuentra integrado el sensor BH1750.

Figura 53

Diagrama de bloques BH1750



Fuente: De información obtenida de (Quero Jiménez, 2019)

Alimentación: fuente de energía autónoma mediante baterías de litio recargables, conforme a las recomendaciones de Artal Sevil et al. (2014) sobre sistemas de alimentación en robots autónomos y mediante criterio técnico definido en el capítulo II se consideró la mejor opción para la alimentación del sistema.

Para la alimentación se usó dos fuentes de energía, una batería de 9VDC recargable para alimentar el sistema de movimiento de las ruedas junto con un puente H modelo L298N que realizará el giro de las ruedas utilizando los GPIO 20, 26, 19 y 16 como también se habilitaran los pines enables para controlar la velocidad de las ruedas mediante los pines GPIO 12 y 13 por señal PWM.

Para alimentar el microprocesador Raspberry pi 4 se usará una placa UPS con una batería de 3.7V de 10000 mAh recargable modelo V3P. En la Figura 54 se visualiza la imagen del sistema de alimentación a usar.

Figura 54

Módulo de batería UPS para Raspberry Pi 4



Fuente: De información obtenida de (Amazon, 2019)

La interconexión de estos componentes se realizó mediante el protocolo I²C, que permite una comunicación estable entre los sensores y el microprocesador, asegurando la correcta sincronización de datos durante las mediciones.

El sensor de luz BH1750, el sensor de temperatura SHTC3 se conectan por medio del sistema I²C. Ahora bien, la pantalla 800X480 IPS Touch Controller donde se desplegará la interfaz gráfica y las funcionalidades del sistema se conectará por medio del puerto ya asignados en el microprocesador.

Diseño del software:

El sistema de software se desarrolló en lenguaje Python, por ser una herramienta de código abierto, multiplataforma y con amplia compatibilidad con librerías de automatización. El programa principal incluye los módulos para lectura de sensores, control de motores, almacenamiento de datos y visualización gráfica.

La interfaz gráfica fue desarrollada con la librería Tkinter, permitiendo al usuario visualizar en tiempo real los valores de iluminación, temperatura y humedad, así como el estado de la conexión con la base de datos, según Chanchí et al. (2020), la implementación de interfaces gráficas intuitivas en sistemas de monitoreo favorece la interpretación rápida de los resultados y la usabilidad del sistema por parte del operador.

El almacenamiento de datos se realiza en una base de datos MySQL, elegida por su compatibilidad con sistemas embebidos y su disponibilidad en versiones gratuitas (Lozano Banqueri, 2018), esta estructura de almacenamiento permite consultar registros históricos, generar reportes automáticos y mantener trazabilidad sobre las mediciones realizadas por el dispositivo.

Diseño funcional e integración:

El diseño funcional del sistema se basa en la interacción coordinada entre los módulos de entrada, procesamiento y salida. Los sensores capturan los valores de iluminación y condiciones ambientales, los cuales son procesados por la Raspberry Pi para su registro y posterior despliegue en pantalla. Simultáneamente, los datos son almacenados en la base de datos local o remota para su análisis.

El sistema también integra un módulo de comunicación mediante la plataforma Telegram, que permite enviar notificaciones o alertas en tiempo real sobre el estado del equipo o la finalización de las mediciones como también controlar el movimiento del robot, aplicando la metodología de comunicación IFTTT descrita por Freire et al. (2024).

Diseño de pruebas:

Para validar el correcto funcionamiento del sistema se estableció un plan de pruebas orientado a comprobar cada subsistema:

1. Prueba de calibración del sensor de iluminación mediante comparativas con un luxómetro manual.
2. Prueba de desplazamiento del robot para verificar estabilidad y control de dirección.
3. Prueba de comunicación entre los sensores y la base de datos.
4. Prueba de interfaz gráfica para verificar el registro y visualización de datos en tiempo real.

Según Ramos Galarza (2021), la validación experimental permite asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos durante la implementación de sistemas automatizados.

5.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROTÓTIPO

La construcción del prototipo constituye una etapa fundamental del proyecto, ya que materializa el diseño conceptual previamente definido y permite validar, en un entorno real, las decisiones técnicas adoptadas tanto a nivel de hardware como de software, tal como lo señalan Hernández Sampieri et al. (2010) al indicar que la experimentación permite comprobar la viabilidad de las propuestas técnicas en contextos reales. En este apartado se describe de manera ordenada el proceso de ensamblaje del sistema, la selección de materiales y componentes, así como la integración de los subsistemas que conforman el luxómetro automatizado con movilidad robótica.

5.2.1 Estructura mecánica del prototipo

La construcción del prototipo del luxómetro automatizado se realizó siguiendo un enfoque de integración modular, combinando componentes mecánicos, electrónicos y de software que permitieran la movilidad, medición y almacenamiento de datos de manera autónoma. El diseño físico del sistema se desarrolló a partir de una estructura liviana fabricada en lámina PVC en una dimensión de 300 x 200 x 3 mm, la cual sirve de base para montar los elementos electrónicos y de tracción del sistema. Esta elección se fundamenta en las recomendaciones de Ramos et al. (2010), quienes destacan que el uso de chasis liviano permite una relación óptima entre peso, rigidez y estabilidad en sistemas móviles de baja potencia.

La disposición del chasis considera dos niveles: el nivel inferior alberga los elementos de potencia y movilidad, tales como los motores, el sistema de transmisión y la batería; mientras que el nivel superior está destinado a los sensores, el sistema de control y los dispositivos de visualización. Esta configuración permite una mejor distribución del peso y facilita el mantenimiento del equipo.

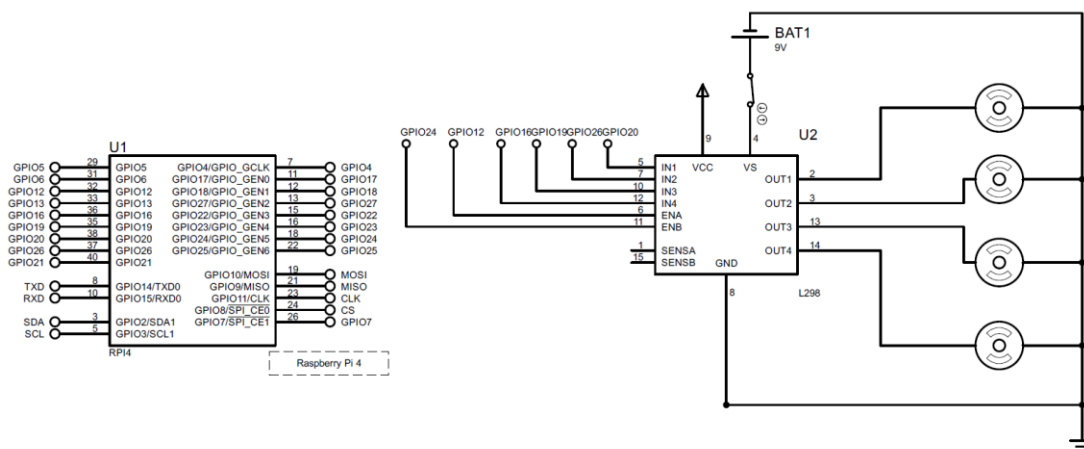
5.2.2 Sistema de movilidad

El desplazamiento del robot se ejecuta mediante cuatro motores DC, los cuales proporcionan la tracción diferencial requerida para su movilidad. Dichos motores están controlados por un módulo puente H L298N, que actúa como interfaz de potencia entre los actuadores y la unidad de procesamiento. Este controlador permite la inversión del sentido de giro y la regulación de velocidad de los motores, garantizando una maniobrabilidad precisa. La disposición de las ruedas es del tipo RMR, recomendada por Ramos et al. (2010) para aplicaciones en superficies planas, reduciendo el consumo energético y mejorando la estabilidad direccional.

La elección de un sistema de tracción a cuatro ruedas responde a la necesidad de garantizar un desplazamiento uniforme y reducir el riesgo de deslizamiento, especialmente durante las paradas requeridas para la toma de mediciones fotométricas. Este diseño contribuye a mantener la posición del sensor de iluminación de forma estable durante el proceso de medición. En la Figura 55 se muestra el diagrama eléctrico del sistema de movilidad.

Figura 55

Diagrama electrónico de potencia



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

5.2.3 Integración del sensor de iluminación

La medición de los niveles de iluminación constituye una etapa esencial dentro del proceso de evaluación fotométrica, ya que permite determinar la cantidad de luz que incide sobre una superficie específica, expresada en unidades de lux (lx). Este parámetro se asocia directamente con la calidad visual de un entorno y con la adecuación de las condiciones lumínicas según la actividad que se desarrolla en el espacio. De acuerdo con el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (2016), toda área destinada al trabajo, recreación o tránsito debe cumplir con valores mínimos de iluminancia establecidos para garantizar tanto la seguridad como la eficiencia visual de los usuarios.

El procedimiento tradicional de medición empleado por la empresa LUMISENS S.A. se realiza de manera manual mediante el uso de un luxómetro portátil, el cual se posiciona en puntos específicos del área a evaluar. Sin embargo, este método presenta limitaciones relacionadas con la precisión y la repetibilidad de las mediciones, debido a factores como la proyección de sombras del operador, errores de registro manual, o la falta de uniformidad en la ubicación de los puntos de muestreo. Como se indicó en el Capítulo I, estas deficiencias generan alteraciones de hasta un 278 % en los valores medidos, afectando la fiabilidad de los resultados y la consistencia de los informes entregados al cliente (Ulate Araya, 2024).

En la práctica, las mediciones fotométricas deben realizarse siguiendo una planificación previa del área, considerando una malla de puntos equidistantes definidos en un plano de referencia. Las lecturas se efectúan habitualmente a una altura de 0.80 metros sobre el nivel del piso,

representando la zona de trabajo típica en la mayoría de los espacios interiores. Además, se recomienda que las condiciones ambientales se mantengan estables durante el proceso, evitando la incidencia de luz natural directa o la variación del flujo luminoso de las luminarias.

Los valores registrados por el luxómetro permiten comparar el nivel de iluminancia real con los valores normativos definidos por INTECO (2016), tal como se muestra en la Tabla 1 del Capítulo I, donde se establece que un área de circulación debe mantener un mínimo de 100 lx, una sala de estar 200 lx, y una sala de atención médica 500 lx. Estas especificaciones constituyen los rangos de referencia para evaluar el cumplimiento de la iluminación requerida en cada entorno.

Con el propósito de optimizar este proceso y reducir el margen de error humano, el presente proyecto plantea la automatización del procedimiento de medición mediante un prototipo de luxómetro montado sobre un sistema robótico, controlado por un microprocesador y sensores integrados de iluminación, temperatura y humedad. Este dispositivo tiene la capacidad de desplazarse de manera autónoma a los diferentes puntos de medición definidos, ejecutar las lecturas de forma continua y almacenar automáticamente los resultados en una base de datos digital MySQL, asociando cada registro con parámetros como fecha, hora, ubicación y condiciones ambientales.

El sistema propuesto permitirá obtener datos más confiables y uniformes, eliminando las alteraciones causadas por la presencia del operador durante la toma de medidas, asimismo, la interfaz gráfica del sistema facilitará la visualización en tiempo real de los niveles de

iluminación, así como la generación de reportes fotométricos automatizados, contribuyendo con ello a la mejora de los procesos técnicos de la empresa LUMISENS. La información recolectada servirá también como insumo para los análisis de brechas y la validación de los niveles de cumplimiento de iluminación en proyectos industriales, comerciales y arquitectónicos.

En términos técnicos, la automatización de la medición de iluminancia incrementa la precisión de los datos, mejora la trazabilidad de la información y reduce los tiempos de ejecución en más de un 50 %, lo cual representa un avance significativo en la eficiencia operativa de los estudios lumínicos que desarrolla la empresa. De esta manera, se garantiza un proceso más estandarizado, confiable y alineado con las normativas internacionales vigentes.

El sensor de iluminación fue montado sobre una estructura elevada a una altura aproximada de 80 cm respecto al nivel del suelo, con el fin de simular las condiciones reales de medición utilizadas en estudios fotométricos, de acuerdo con las prácticas comúnmente empleadas en evaluaciones de iluminancia descritas por Ortega Castillo y Vega Masis (2020). La fijación del sensor se realizó mediante un soporte rígido que evita desplazamientos o inclinaciones no deseadas.

5.2.4 Sistema de control y procesamiento

El sistema de control del prototipo se basa en una plataforma de procesamiento que gestiona de manera integrada la movilidad del robot, la adquisición de datos de los sensores y la comunicación con los sistemas de almacenamiento y visualización. Dicho sistema fue programado para coordinar las secuencias de desplazamiento, detención y medición, garantizando la repetibilidad del proceso.

Para el procesamiento de datos y la automatización de las funciones principales, se integró una Raspberry Pi 4, encargada de ejecutar los algoritmos de control, comunicación y almacenamiento. Además, se incorporó un sensor BH1750 para la medición de la iluminancia, por su alta precisión y bajo consumo, y un sensor SHTC3 para registrar temperatura y humedad ambiental, ambos seleccionados por su compatibilidad con el protocolo I²C y su desempeño comprobado en mediciones ambientales (Villavicencio López & León Toala, 2017).

El sistema de visualización local se implementó mediante una pantalla LCD de 5 inch DSI Display modelo 800X480 IPS Capacitive Touch, donde se muestran los valores de lux, temperatura y humedad en tiempo real. Para la supervisión remota, se desarrolló una interfaz gráfica en Python, aprovechando las librerías Tkinter para la representación gráfica y gestión de eventos. Según Chanchí et al. (2020), la visualización mediante interfaces gráficas facilita la interpretación de los datos medidos y permite al usuario realizar un seguimiento continuo del comportamiento del sistema.

5.2.5 Sistema de alimentación

La alimentación del prototipo se realiza mediante un sistema de baterías recargables, seleccionado para proporcionar autonomía suficiente durante las sesiones de medición, considerando los criterios de densidad energética y número de ciclos de carga recomendados para sistemas móviles descritos por Artal Sevil et al. (2014). El sistema de energía fue dimensionado considerando el consumo total de los motores, sensores y dispositivos de control, el prototipo utiliza baterías de ion-litio recargables de 3.7V, capaces de mantener una autonomía aproximada de una hora, tal como recomiendan Artal Sevil et al. (2014) por su alta densidad energética y durabilidad.

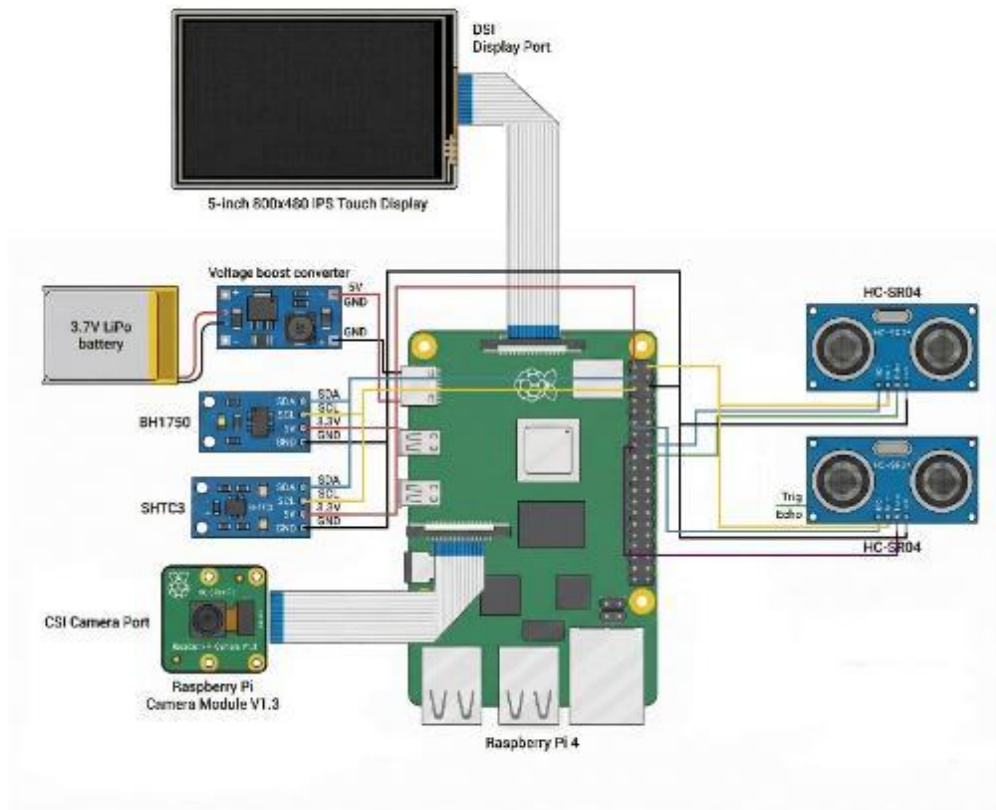
5.2.6 Ensamblaje final y verificación

Durante el ensamblaje, se verificó la correcta conexión de los componentes, asegurando el aislamiento de los circuitos de potencia respecto a los de control. La disposición interna del cableado y los módulos se optimizó para minimizar interferencias electromagnéticas y mantener una distribución de peso uniforme. El montaje final integró todos los sistemas, mecánico, electrónico y de software, obteniéndose un prototipo completamente funcional capaz de desplazarse de forma autónoma, medir los niveles de iluminación y registrar los datos obtenidos en una base de datos MySQL (Lozano Banqueri, 2018).

La Figura 56 se presentará el esquema general del prototipo final, donde se observan los módulos principales de hardware y su interconexión.

Figura 57

Diagrama electrónico del sistema de control.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

5.2.7 Software del sistema:

Se ampliará a detalle cada proceso que se utilizó en el desarrollo del script que permite el correcto funcionamiento de la automatización, para lo cual se evaluarán los siguientes aspectos:

- ✓ Registro y almacenamiento de los datos obtenidos.
- ✓ Interfaz gráfica y los elementos que la componen.
- ✓ Visualización de resultados en interfaz en Telegram como en interfaz gráfica.

- ✓ Operación autónoma del sistema.
- ✓ Requerimientos técnicos y de desempeño.

A continuación, se describirá a detalle el desarrollo del script que permite la correcta funcionalidad de la mayoría de los alcances.

5.2.7.1 Conexión con App Telegram:

Para la movilización del sistema como también la activación del comando medir se realiza por medio del App Telegram generando un Bot el cual se crea con el nombre de “FotoRobot” donde se programa los botones de adelantar, atrasar, derecha e izquierda usando la librería “from telepot.namedtuple import ReplyKeyboardMarkup, KeyboardButton” donde se despliegan los botones en el Bot, también se habilita los pines enables del puente H L298N para controlar la velocidad del robot y la acción de mediciones donde se enviará la orden de ejecutar los sensores BH1750 y SHTC3 realizando la activación del sistema de automatización del luxómetro. En la Figura 58 se muestra el código que integra el menú de botones en Telegram.

Figura 58

Función de menú de botones integrados en Telegram

```
# --- MENÚ DE BOTONES ---
def menu_botones():
    return ReplyKeyboardMarkup(
        keyboard=[
            [KeyboardButton(text="/Adelante")],
            [KeyboardButton(text="/GiroIzquierda"), KeyboardButton(text="/Directo"), KeyboardButton(text="/GiroDerecha")],
            [KeyboardButton(text="/Atras")],
            [KeyboardButton(text="/(+Velocidad"), KeyboardButton(text="/(-Velocidad)"]],
            [KeyboardButton(text="/Mediciones"), KeyboardButton(text="/Desactivar")]
        ],
        resize_keyboard=True,
        one_time_keyboard=False
    )
```

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Controlar el sistema desde el teléfono celular y además se pueda activar los sensores es fundamental en el proceso de desarrollo de la automatización. En la Figura 59 muestra la

interfaz que genera el menú de botones en el Bot de Telegram donde se activará el sistema de movilización como el comando de mediciones de los sensores.

Figura 59

Interfaz de los botones de control en Telegram



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

5.2.7.2 Registro y almacenamiento de los datos obtenidos:

Para el registro y almacenamiento de los datos medidos se normaliza una base de datos María DB para lograr almacenar no solo los datos que se van a medir, sino, la información del cliente como también ingresar parámetros del área a medir con el objetivo de generar el reporte final que se propuso como parte de reducción de brecha con respecto al sistema actual.

Figura 60

Almacena la información del cliente

```
Database changed
MariaDB [DBMEDICIONLUX]> SELECT * FROM Cliente;
```

ClienteID	Nombre_Empresa	Nombre_Departamento	Nombre_Contacto	Email	Telefono
1	ICE	Ingenieria	Ing. David Meza	DMeza@ice.go.cr	20002210
2	Lumisens	Ventas	Jorge Ulate	julate@lumisens.com	22969900
3	Lumisens	Produccion	Jorge Ulate	julate@lumisens.com	22969900
4	Lumisens	Ventas	Jorge Ulate	julate@lumisens.com	22969900
5	LUMISENS	VENTAS	Jorge Ulate	julate@lumisens.com	22969900
6	INS	Ingenieria	Karla	karla@ins.com	88709717

```
6 rows in set (0.001 sec)
```

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En la Figura 60, se muestran 6 columnas que corresponden a la información general del cliente y que se usará para integrarlo al reporte final.

Almacenar información de las condiciones del área a medir es parte de la automatización que se desea lograr, esto con el fin de obtener datos en el informe final de aspectos que ayuden a realizar la evaluación final y poder ofrecer las recomendaciones óptimas para lograr los resultados deseados que cumplan con las normas de iluminación, esos datos se muestran en la Figura 61 y se detallan más adelante.

Figura 61*Información del área de medición*

AreaID	ClienteID	Tipo_Area	Minimo	Maximo	Altura_Medicion	Altura_Cielo	Altura_Plano_Trabajo	Acabado_Paredes	Tipo_Piso
Actividad	Estado_Luminarias_Existentes	Tipo_Luminaria							
1	1	Recepcion	100.00	200.00	3.00	3.00	0.80	Gris	Ceramico
Oficinas	Regular								
2	1	Oficinas-Sala Juntas	300.00	500.00	3.00	3.00	0.80	Cemento	Porcelanato
Oficinas	Regular	Panel 2x2							
3	1	Oficinas-Sala Juntas	300.00	500.00	3.00	3.00	0.80	Blancas	Terrazo
Comercial	Regular	Tubos Florescentes							
4	1	Oficinas-Sala Juntas	300.00	500.00	3.00	3.00	0.80	Blancas	Terrazo
Comercial	Regular	Tubos Florescentes							
5	1	Oficinas-Sala Juntas	300.00	500.00	3.00	3.00	0.80	Blancas	Terrazo
Comercial	Regular	Tubos Florescentes							
6	1	Oficinas-Sala Juntas	300.00	500.00	3.00	4.00	0.80	Blanca	Terrazo
Comercial	Regular	Tubos florescentes							
7	1	Pasillos	100.00	200.00	3.00	3.00	0.80	Blanco	Cemento expuesto
Comercial	Regular	Tubos florescentes							
8	6	Oficinas-Sala Juntas	300.00	500.00	3.00	3.00	0.80	Blancas	Ceramico
Seguros	Regular	Tubo T8							
9	6	Recepción-Lobby	100.00	200.00	3.00	3.00	0.80	Blancas	Ceramico
Seguros	Regular	Tubo T8							
10	6	Recepción-Lobby	100.00	200.00	3.00	3.00	0.80	Blanca	Ceramica
Seguros	Regular	Tubo T8							
11	6	Oficinas-Sala Juntas	300.00	500.00	3.00	3.00	0.80	Blanca	Ceramica
Seguros	Regular	Tubo T8							

11 rows in set (0.001 sec)

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como parte de la automatización y considerando en gran medida las respuestas de las consultas realizadas en el capítulo IV, específicamente en la encuesta, se agregan a la automatización elementos que se deben considerar en las áreas a medir, como lo son las alturas de las luminarias, el estado de las luminarias, entre otros aspectos importantes. En la Figura 61 se visualiza aspectos del estado del área a medir los cuales se describen en la siguiente Tabla 13 para una mejor comprensión:

Tabla 13*Análisis de costo del hardware*

Area ID.	Cliente ID.	Tipo de área.	Mínimo.	Máximo.	Altura medición.	Altura cielo.	Plano trabajo.	Acabado paredes.	Tipo de piso.	Actividad.	Estado luminaria.	Tipo de luminaria.
----------	-------------	---------------	---------	---------	------------------	---------------	----------------	------------------	---------------	------------	-------------------	--------------------

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Considerar valores de iluminancia entre un rango de cumplimiento definiendo umbrales mínimos y máximos permite generar un reporte donde pueda evaluarse si el área cumple o no cumple, estos valores se definen de acuerdo con lo que indica la norma INTECO (2016).

El diseño de la tabla permite almacenar datos importantes como el acabado del área en estudio, la posición de las luminarias, la altura de los techos como también evaluar el tipo de actividad que se realiza integrando esa información al reporte final.

La tabla de almacenamiento de los datos medios por los sensores es quizás la más importante en la automatización, ya que es ahí donde se van a almacenar las mediciones de los sensores para luego procesarlas en el informe final.

Figura 62

Medición de los sensores

```
MariaDB [DBMEDICIONLUX]> SELECT * FROM Medicion;
```

MediccionID	AreaID	Fecha	Hora	Temperatura	Humedad	Luxes
1	1	2025-10-05	15:33:22	29.00	69.00	50.00
2	1	2025-10-05	15:54:54	29.00	69.00	50.00
3	1	2025-08-10	09:26:59	29.00	69.00	50.00
4	1	2025-10-19	12:55:00	30.00	68.00	50.00
5	1	2025-10-19	13:13:00	28.00	50.00	150.00
6	1	2025-10-19	13:36:00	28.00	70.00	50.00
7	1	2025-10-19	13:47:00	30.00	70.00	50.00
8	6	2025-10-19	14:50:00	28.00	70.00	50.00
9	1	2025-10-24	21:02:00	35.83	26.14	76.36
10	1	2025-10-25	11:27:35	50.00	28.29	73.73

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

La tabla de Medición considera la fecha, hora y los valores de los sensores, la columna de la MediciónID muestra la cantidad de mediciones que se realizaran en el área en estudio y el

AreaID permite al sistema desplazarse en diferentes áreas en un mismo evento, tal como se muestra en la Figura 62.

Luego de normalizar la base de datos que almacenará la información que se ingresará o se medirá, se procede a crear la interfaz gráfica de sistema de diseño e implementación del prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante el sistema robótico y almacenamiento de datos.

5.2.7.3 Interfaz gráfica del sistema

La interfaz gráfica del sistema constituye el componente encargado de facilitar la interacción entre el usuario y el prototipo automatizado, permitiendo la visualización, consulta y análisis de los datos fotométricos obtenidos durante las mediciones. Su implementación responde a la necesidad de presentar la información de forma clara, ordenada y accesible, reduciendo la dependencia de interpretaciones manuales y minimizando posibles errores operativos.

El diseño de la interfaz gráfica se orienta a un enfoque funcional, en el cual los elementos visuales se organizan de manera lógica y jerárquica. Las pantallas principales permiten al usuario acceder a las mediciones en tiempo real, consultar registros históricos almacenados en la base de datos y generar reportes básicos para su posterior análisis. Esta estructura favorece la comprensión de los resultados y optimiza el proceso de evaluación de los niveles de iluminancia.

Asimismo, la interfaz gráfica fue desarrollada considerando principios de usabilidad, tales como la simplicidad visual, la consistencia en el uso de colores y etiquetas, y la reducción de la carga cognitiva del usuario. Estos criterios permiten mejorar la experiencia de uso del sistema y

contribuyen a una operación más eficiente, especialmente en entornos de medición donde se requiere rapidez y precisión.

Desde el punto de vista funcional, la interfaz gráfica actúa como un vínculo directo con la base de datos del sistema, permitiendo la recuperación y visualización de la información almacenada de forma inmediata. Esta integración fortalece el carácter cuantitativo del proyecto, ya que facilita la interpretación objetiva de los datos y apoya la toma de decisiones basada en información confiable, en concordancia con los principios metodológicos de la investigación aplicada descritos por Hernández Sampieri et al. (2010).

La interfaz gráfica se diseña utilizando la librería tkinter por ser la biblioteca por defecto de Python para el kit de herramientas GUI Tk (Python Software Foundation., 2025), por su versatilidad y opciones de diseño que ofrece elementos visuales como botones, cuadros de texto y es multiplataforma ya que funciona en ambientes Windows, macOS y Linux.

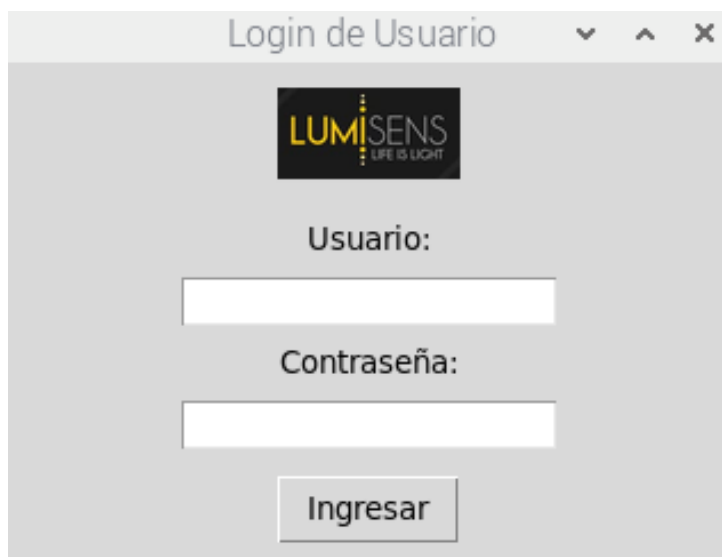
Para la interfaz gráfica del proyecto se diseñan múltiples ventanas para lograr el diseño e implementación del prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante el sistema robótico y almacenamiento de datos, la pantalla inicial es la de autenticación de usuario, en la Figura 63 se muestra la interfaz usada.

Pantalla de autenticación de usuario.

La integración de estas pantallas permite una navegación secuencial y organizada, asegurando la correcta ejecución de los procesos de medición, control y almacenamiento de datos, así como el cumplimiento de criterios básicos de usabilidad y seguridad en sistemas electrónicos automatizados (Nielsen (2012); Sommerville (2016)).

Figura 63

Pantalla de autenticación de usuario



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

La interfaz gráfica de autenticación se crea un usuario en la base de datos con su respectiva contraseña encriptada, luego usando la librería tkinter se realiza la ventana donde se diseña la opción de inicio de sesión del sistema validando el usuario y/o contraseña registrados en la base de datos.

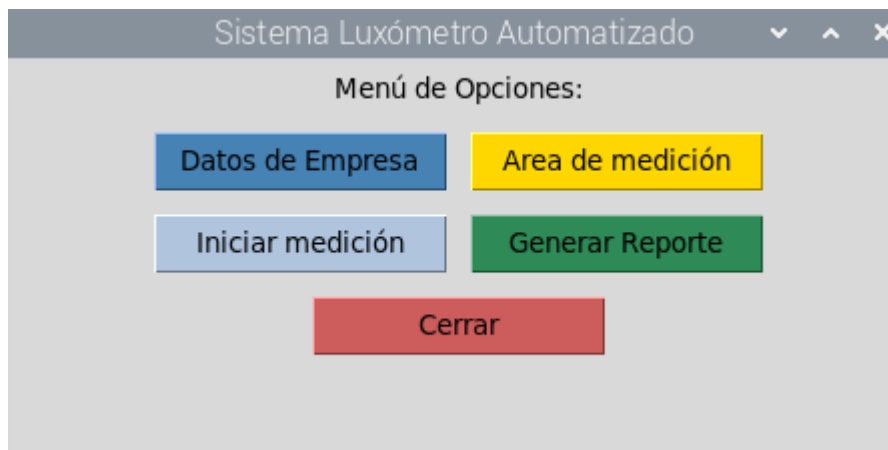
La interfaz de la ventana de autenticación no se diseña con un sistema MFA (Multi-Factor Authentication) que brinde protección contra malwares, sin embargo, podría ser parte de las mejoras en el sistema donde brinde mayor seguridad cibernética al sistema.

Pantalla principal.

Luego de realizar la autenticación de usuario del sistema y accionar el botón ingresar, automáticamente se despliega la pantalla principal tal como se visualiza en la Figura 64, como se observa hay 4 botones los cuales se van a requerir accionar para ejecutar las diferentes actividades que demanda la automatización.

Figura 64

Pantalla principal



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

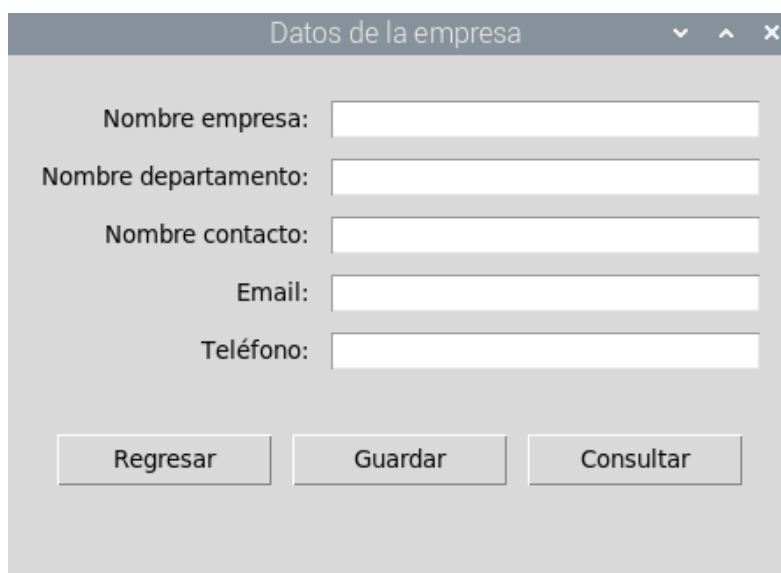
Como se muestra en la Figura 64 la ventana principal contiene cuatro opciones a saber, datos de empresa, área de medición, iniciar medición y generar reporte, cada opción va a ejecutar acciones que ofrecerán información relacionada al diseño de la automatización, las acciones que se ejecutaran están fundamentadas en la encuesta realizada en el capítulo IV donde se definieron los comandos que se ejecutaran y las pantallas que diseñan la automatización.

Pantalla datos de empresa:

La pantalla muestra los datos generales de la empresa, los cuales se integran al reporte final, tal como se observa en la Figura 65, la incorporación de la información del cliente permite que el informe generado sea un documento confiable, estructurado y de fácil análisis.

Figura 65

Pantalla datos de empresa.



The image shows a software window titled "Datos de la empresa" with a standard window control bar (minimize, maximize, close). The form contains the following fields and buttons:

- Nombre empresa:
- Nombre departamento:
- Nombre contacto:
- Email:
- Teléfono:

At the bottom of the form, there are three buttons: "Regresar", "Guardar", and "Consultar".

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se observa en la Figura 65 aparte de la información personal que demanda llenar la pantalla, hay un botón de consulta con el fin de verificar si el cliente existe o de lo contrario se debe crear como nuevo cliente. Luego de llenar los datos del cliente nuevo, al ejecutar el botón guardar la acción almacenará la información del cliente en la base de datos "Cliente" para posteriormente integrarse al reporte final.

Pantalla área de medición:

Posteriormente se activa el botón “Área de medición”, esta pantalla solicita ingresar un código ID para luego seleccionar el área de medición, al ejecutar esa acción se desplegará una pantalla emergente donde se selecciona el área a medir que ya contiene los umbrales de iluminancia que deben cumplir, esto basado en la norma INTECO (2016) tal como se muestra en la Figura 66.

Figura 66

Pantalla áreas de medición

The screenshot displays the 'Áreas de Medición' application interface. The main window has a title bar with 'Áreas de Medición' and standard window controls. It features several input fields arranged in two columns. The left column includes 'ID Cliente', 'Area', 'Máximo', 'Altura del cielo', 'Acabado de las paredes', 'Actividad empresa', and 'Tipo luminaria'. The right column includes 'Selección area de medición:' (a dropdown menu showing 'Área de medición'), 'Mínimo', 'Altura de luminaria', 'Altura de plano de trabajo', 'Tipo de piso', and 'Estado luminarias'. At the bottom of the main window are 'Guardar' and 'Regresar' buttons. A secondary window titled 'Seleccionar Área' is open in the foreground, showing a list of area options: 'Recepción-Lobby', 'Oficinas-Sala Juntas', 'Pasillos', 'Laboratorio', 'Baños', 'Área de producción', 'Bodega Almacenaje', 'Control de Calidad', 'Área Comercial', and 'Exhibición Producto'.

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En la pantalla área de medición también se ingresarán datos de las condiciones del área a medir como se muestra en la Figura 66, la información que se recabara permitirá considerar aspectos de diseño en caso de requerir modelar el área con software de simulación de iluminación como DIALux, pero también contemplar las alturas de las luminarias, altura del cielo, el tipo de luminaria y el estado de la luminaria que es parte fundamental a la hora de realizar el estudio fotométrico.

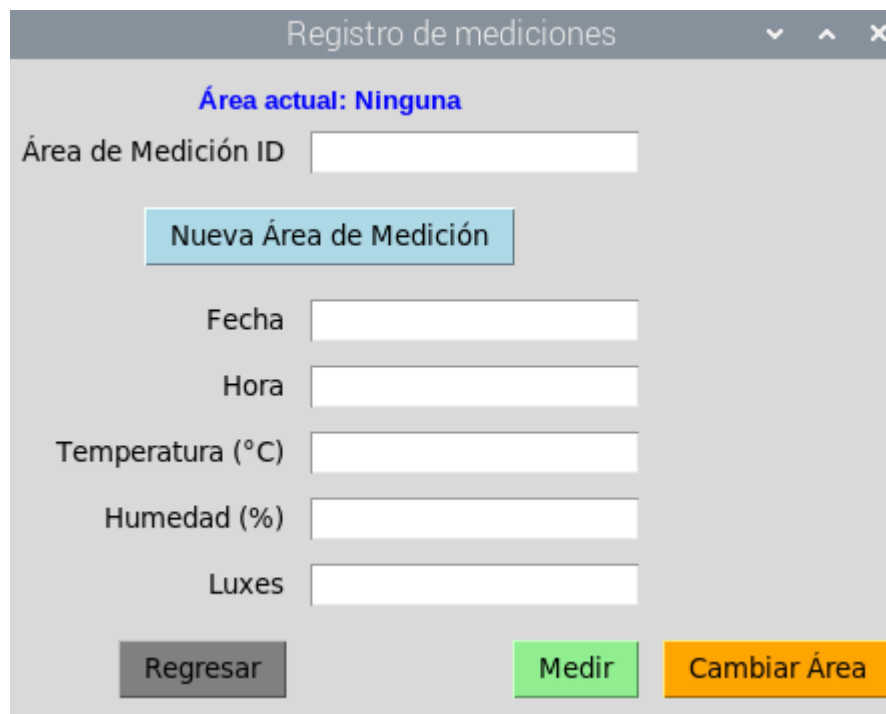
Pantalla iniciar medición:

Al activar el “botón iniciar medición” se despliega dentro de la ventana la opción área de medición ID donde se debe ingresar el mismo valor de código ID ingresado en la pantalla “área de medición” con el propósito de asociar las pantallas y realizar la nueva medición para inicializar el sistema.

La pantalla iniciar medición ejecuta las funcionalidades del sensor BH1750 y el SHTC3 como también almacena la fecha y hora en la que se ejecutó la acción. La interfaz gráfica fue diseñada para que la toma de medición de datos de los sensores sea en tiempo real por lo que los datos medidos se desplegarán en una pantalla emergente tanto en la interfaz gráfica como en el Bot de Telegram. En la Figura 67 se visualiza las acciones que contienen dicha pantalla. La ventana muestra espacios donde se pueden incorporar los datos, sin embargo, el algoritmo se realizó para mostrar los resultados como una ventana emergente, por tanto, quedaría como una posible recomendación de diseño.

Figura 67

Pantalla registro de mediciones



Registro de mediciones

Área actual: Ninguna

Área de Medición ID

Nueva Área de Medición

Fecha

Hora

Temperatura (°C)

Humedad (%)

Luxes

Regresar Medir Cambiar Área

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

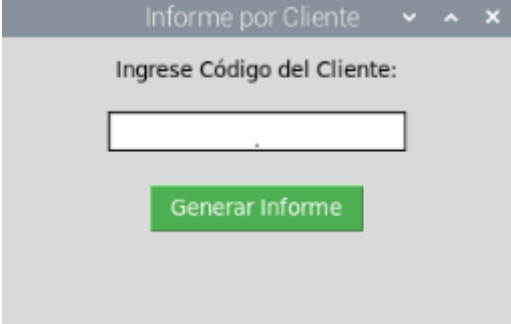
Como se muestra en la Figura 67 la pantalla iniciar medición también contiene los botones de cambiar área, medir en caso de que se desee activar el sistema desde el robot y regresar. Al ejecutar la acción de medir se despliega una pantalla emergente con la información de los datos medidos los cuales se mostrarán en la implementación.

Pantalla generar reporte:

Después de haber realizado todo el recorrido de las diferentes áreas que se midieron, al presionar el botón de generar reporte se despliega una ventana solicitando ingresar el código del ClienteI el cual permite generar los reportes de acuerdo con la empresa que se haya ingresado, tal como se observa en la Figura 68.

Figura 68

Pantalla de acción del reporte

A screenshot of a web application window titled "Informe por Cliente". The window has a light gray background. At the top, there is a dark gray header bar with the text "Informe por Cliente" and three small icons (a downward arrow, an upward arrow, and a close 'x' icon). Below the header, the text "Ingrese Código del Cliente:" is displayed in a dark gray font. Underneath this text is a white rectangular text input field with a thin black border. Below the input field is a green rectangular button with the text "Generar Informe" in white, bold, sans-serif font.

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Al ingresar el código del cliente y activar el botón "Generar Reporte" se desplegará el reporte que contiene la información que se ingresó en las ventanas donde solicitaban datos y se fue guardando en las bases de datos, como también el promedio y el estado del área en cuanto a su cumplimiento o no cumplimiento, tal como se muestra en la Figura 69.

Figura 69

Pantalla de visualización del reporte en Raspberry Pi 4

Informe Cliente #1

Empresa: ICE Regresar Exportar a TXT

Contacto: Ing. David Meza | Email: DMeza@ice.go.cr | Teléfono: 20002210

Área #1 - Recepcion

Rango: 100.00-200.00 | Altura Medición: 3.00 | Altura Cielo: 3.00
Paredes: Gris | Piso: Ceramico | Actividad: Oficinas
Luminarias: Regular | Tipo: Tubo Florecente

Fecha	Hora	Temperatura	Humedad	Luxes
2025-10-05	15:33:22	29.00	69.00	50.00
2025-10-05	15:54:54	29.00	69.00	50.00
2025-08-10	9:26:59	29.00	69.00	50.00
2025-10-19	12:55:00	30.00	68.00	50.00
2025-10-19	13:13:00	28.00	50.00	150.00

Promedio de Luxes: 76.98 -- X No Cumple

Área #2 - Oficinas-Sala Juntas

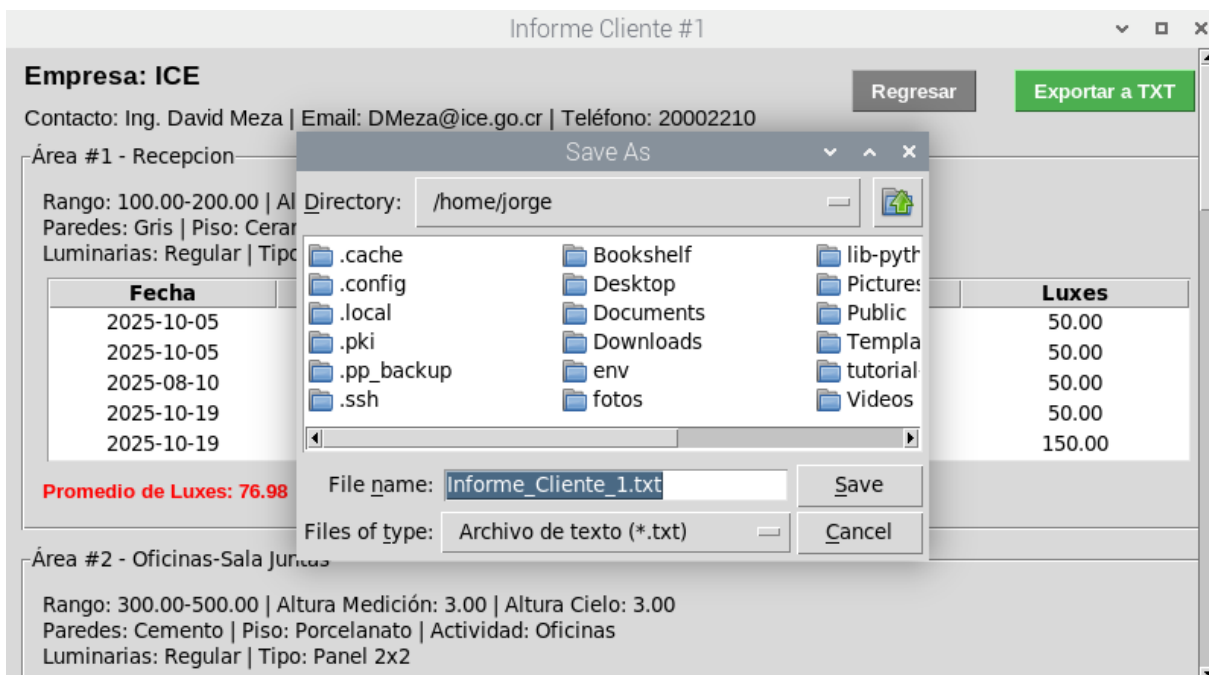
Rango: 300.00-500.00 | Altura Medición: 3.00 | Altura Cielo: 3.00
Paredes: Cemento | Piso: Porcelanato | Actividad: Oficinas
Luminarias: Regular | Tipo: Panel 2x2

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se aprecia en la Figura 69 el reporte se puede exportar como un archivo texto tabulado que permita análisis básico o con Excel, el cual se guardará en una carpeta en Raspberry Pi 4, como se muestra en la Figura 70, el algoritmo permite seleccionar la carpeta en la que se guardará el reporte final para posteriormente descargarlo al ordenador donde se va a procesar la información en su totalidad, por lo que los datos de las mediciones quedaron archivados cumpliendo con parte de los alcances propuestos.

Figura 70

Pantalla de ruta para almacenar el reporte



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En la Figura 71 se visualiza el reporte que se genera y que se exporta desde el Raspberry Pi 4 a una carpeta para posteriormente enviarlo al cliente con la información, cabe destacar que es importante tener un sistema de almacenamiento USB para copiar los archivos y poderlos llevar al computador para procesarlos o enviarlos al cliente final por correo o el sistema que se use de comunicación con el cliente.

Figura 71

Reporte final

```

=== INFORME CLIENTE #1 ===
Empresa: ICE
Contacto: Ing. David Meza
Email: DMeza@ice.go.cr | Teléfono: 20002210

=== Área #1 - Recepción ===
Rango Luxes: 100.00 - 200.00
Altura Medición: 3.00 | Cielo: 3.00 | Plano: 0.80
Paredes: Gris | Piso: Cerámico | Actividad: Oficinas
Luminarias: Regular | Tipo: Tubo Fluorescente
Fecha          Hora          Temp.    Humedad Luxes|
-----
2025-08-10     9:26:59      29.00   69.00  50.00
2025-10-05     15:33:22     29.00   69.00  50.00
2025-10-05     15:54:54     29.00   69.00  50.00
2025-10-19     12:55:00     30.00   68.00  50.00
2025-10-19     13:13:00     28.00   50.00  150.00
2025-10-19     13:36:00     28.00   70.00  50.00
2025-10-19     13:47:00     30.00   70.00  50.00
2025-10-24     21:02:00     35.83   26.14  76.36
2025-10-25     11:27:35     50.00   28.29  73.73
2025-10-25     11:42:52     43.33   28.44  74.46
2025-10-25     11:44:39     40.83   28.56  74.34
2025-10-25     15:53:45     28.73   74.52  31.67
2025-10-25     15:53:54     28.72   74.47  31.67
2025-10-25     15:53:56     28.71   74.45  31.67
2025-11-01     12:33:50     25.35   82.04  27.50
2025-11-01     12:35:13     25.36   82.09  26.67
2025-11-01     12:35:17     25.36   82.15  26.67
2025-11-01     14:12:34     25.66   81.74  25.83
2025-11-01     14:12:40     25.65   81.77  25.83
2025-11-01     14:12:53     25.83   25.66  81.75
2025-11-01     15:28:56     25.81   81.71  16.67
2025-11-01     15:29:03     25.79   81.83  16.67
2025-11-01     15:52:27     25.78   81.51  13.33
2025-11-01     15:52:39     25.81   81.55  13.33
2025-11-01     15:52:43     25.80   81.45  13.33
Promedio Luxes: 76.98 → ✗ No Cumple

```

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

La instalación de la cámara y la pantalla se utilizaron los puertos que cuenta el microprocesador Raspberry Pi 4, para conectar estos dispositivos, los cuales fueron el CSI camera port y el DSI Display port.

La pantalla se instaló en la plataforma que se eleva a 255 mm desde el casis del robot, a pesar de que podría considerarse una altura baja, no se logra subir más la posición de la plataforma por un tema de estabilidad del robot, sin embargo, desde esa altura se logra visualizar los resultados que se despliegan de las mediciones de los sensores.

La cámara se ubica en el mástil que eleva el sensor BH1750 a una altura de 100 mm desde la plataforma donde se ubica la pantalla y el microprocesador Raspberry Pi 4, esto porque la faja conexión limita la distancia, el movimiento y la ubicación.

En la Figura 72 se presenta una imagen del robot final, como se puede apreciar la parte de potencia se instala en el la primera plataforma y la parte de control y sensores se instala a una altura de 255 mm a partir del primer chasis.

Figura 72*Robot*

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Una vez descritos el diseño, la construcción y la implementación del prototipo de luxómetro automatizado con capacidad de desplazamiento mediante un sistema robótico, así como el sistema de almacenamiento de datos desarrollado para la empresa LUMISENS durante el año 2025, se procede al siguiente apartado, en el cual se presentan la implementación operativa y las pruebas realizadas.

5.3 IMPLEMENTACIÓN

La implementación del prototipo consistió en la integración de los subsistemas de hardware y software previamente diseñados, con el objetivo de verificar la funcionalidad del luxómetro automatizado bajo condiciones controladas. En esta etapa se realizaron las pruebas de conexión entre los módulos electrónicos y el sistema de control principal, así como la validación de las rutinas de programación y comunicación entre dispositivos.

El sistema fue configurado sobre una Raspberry Pi 4, donde se instaló el sistema operativo Raspberry Pi OS y las librerías necesarias para la ejecución del software de control, incluyendo telepot, tkinter, gpiozero, adafruit_servokit, mysql.connector y smbus2. Dichas librerías permitieron establecer la comunicación entre los sensores y actuadores, el control del desplazamiento del robot y el registro de las mediciones fotométricas en una base de datos MySQL, tal como recomiendan Lozano Banqueri (2018) para el manejo estructurado de datos técnicos.

El proceso de implementación se desarrolló en tres fases principales:

Fase 1: Integración del hardware.

Se ensamblaron los módulos electrónicos en la estructura de PVC del prototipo, garantizando el aislamiento de las señales de control respecto a las de potencia. El módulo PCA9685 del puente H L298N se empleó para regular la dirección y velocidad de los motores DC, siguiendo los parámetros de conexión recomendados por Ramos et al. (2010) en configuraciones de tracción diferencial.

Fase 2: Configuración del software y comunicación.

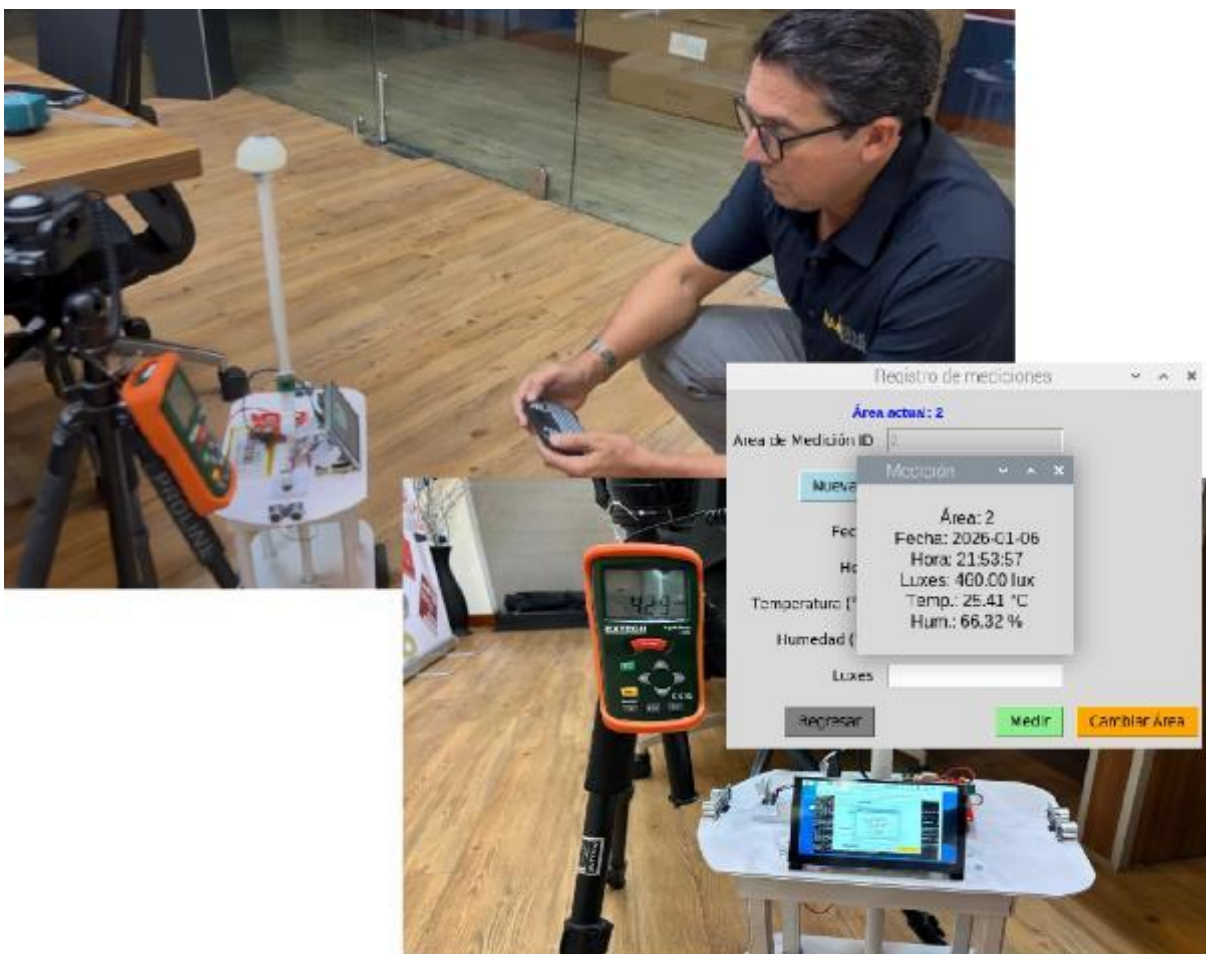
En esta etapa se desarrolló el código de control en lenguaje Python, debido a su compatibilidad con los sistemas Linux embebidos y su soporte para bibliotecas de comunicación con hardware, tal como indican Chanchí et al. (2020). Se implementaron funciones para la lectura continua de los sensores BH1750 (iluminancia) y SHTC3 (temperatura y humedad), el procesamiento de los datos en tiempo real, y el envío de los valores a la base de datos MySQL, donde se estructuran en registros que incluyen fecha, hora y condiciones ambientales.

Fase 3: Pruebas y calibración.

Una vez ensamblado el sistema, se ejecutaron pruebas funcionales para verificar la movilidad, la adquisición de datos y la comunicación entre los módulos. La calibración del sensor BH1750 se realizó comparando los valores obtenidos con un luxómetro de referencia, asegurando un margen de error inferior al 10 %. En la Figura 73 se aprecia la diferencia entre el valor que registra el luxómetro manual marca Extech con relación al valor que registra el sistema automatizado.

Figura 73

Comparativo de los dos sistemas de medición de iluminación.



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se observa en la Figura 73 el valor medido por el luxómetro automatizado es de 460 luxes contra 429 luxes del luxómetro manual presentando una desviación de un 7% por arriba entre el luxómetro automatizado y el sistema manual lo que hace ver que hay mucha similitud entre ambos equipos.

De igual forma, se verificó la estabilidad de la comunicación inalámbrica mediante la conexión del Bot de Telegram, que notifica al usuario sobre el estado de operación del prototipo (Freire, Castillo, Zambrano, Corrales, & Naranjo, 2024). Finalmente, se evaluó la autonomía energética

del sistema, confirmando un tiempo de operación continuo aproximado de una hora, conforme al rendimiento esperado de las baterías de ion-litio (Artal Sevil , Domínguez Navarro , García Gracia , & Delgado Antillón , 2014).

Figura 74

Diagrama electrónico del sistema de potencia



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

El resultado final de la implementación fue un prototipo completamente operativo, capaz de desplazarse de forma autónoma, medir los niveles de iluminancia en distintas áreas y registrar los datos obtenidos en una base de datos para su posterior análisis. La Figura 74 presenta el montaje físico final del sistema implementado, ahora bien, en la siguiente sección se analizará los costos económicos asociados al proyecto.

5.4 ANÁLISIS DE COSTOS

Seguidamente se realiza el análisis de costos del proyecto donde se divide en 2 partes, como una primera parte se describirán los componentes del hardware y los costos asociados de mano de obra y una segunda parte el costo del código del software, se dividen los costos con la intención de realizar un análisis a profundidad por separado del hardware y del software para cuantificar los costos reales de producción del sistema del luxómetro automatizado ya que el software se realiza una única vez.

Tabla 14

Análisis de costo del hardware

COSTO DEL HARDWARE			
Componente	Imagen del componente o accesorio y/o observación	Cantidad	Costo
Chasis, plataformas y estructura de elevación PVC	Lámina de PVC de 122 x 2.44 cm	1	¢4 530,00
Motores DC		4	¢7 490,00
Ruedas		4	¢5 000,00
Puente H L298N		1	¢3 475,00
Batería 9VDC		1	¢5 975,00
Interruptor		1	¢1 125,00
Raspberry Pi 4		1	¢45 000,00
Sensor BH1750		1	¢8 490,00
Sensor SHTC3		1	¢2 975,00
Sensor Ultrasónico HC-SR04		2	¢4 490,00

Pantalla LCD 5"		1	¢24 000,00
Batería 3.7V y módulo UPS para Raspberry Pi 4		1	¢24 200,00
Protoboard		1	¢750,00
Cables jumpers.		1 paquete	¢2 300,00
Tornillos, tuercas y otros.		1 kit	¢3 500,00
Otros accesorios			¢3 000,00
Mano de obra de construcción		1 día	¢26 138,00
TOTAL ¢			¢172 438,00

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se muestra en la Tabla 14, la cual describe a detalle todos los elementos que componen el hardware del sistema como también los costos económicos los cuales fueron consultados en tiendas de venta de productos eléctricos y en otros casos importados a través de la plataforma de Amazon. En cuanto a los costos de mano de obra se consulta la lista de salarios del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2023).

El costo del hardware se proyecta a un valor neto de ¢172 438,00 con los impuestos incluidos del valor agregado.

Tabla 15

Análisis del costo del software

COSTO DEL SOFTWARE				
Servicio	Lenguaje de programación	Cantidad horas	Costo /hora	Total
Programación	Python	120	¢3712,65	¢445518,00

TOTAL ¢	¢445518,00
----------------	------------

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

En cuanto al costo del desarrollo del software, se consideran 15 días de trabajo en un horario de 8 horas diarias, lo que daría un total de 120 horas de trabajo para el desarrollo del software tal como se observa en la Tabla 15. El costo económico que representa el desarrollo del script es de ¢445518,00 y los parámetros usados para definir estos costos se obtienen del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2023), en la Figura 75 se observa la escala utilizada la cual es la que corresponde al salario de un bachiller universitario, se agrega documento en anexos.

Figura 75

Datos de salarios del MTSS

SIGLAS Y SALARIOS MÍNIMOS

TONC	Trabajador en Ocupación No Calificada	¢ 12.236,95
TOSC	Trabajador en Ocupación Semicalficada	¢ 13.306,79
TOC	Trabajador en Ocupación Calificada	¢ 13.767,45
TOE	Trabajador en Ocupación Especializada	¢ 15.983,96
TES	Trabajador de Especialización Superior	¢ 24.805,47
TONCG	Trabajador en Ocupación No Calificada (Genérico)	¢ 367.108,55
TOSCG	Trabajador en Ocupación Semicalficada (Genérico)	¢ 399.203,69
TOCG	Trabajador en Ocupación Calificada (Genérico)	¢ 413.023,64
TMED	Técnico Medio en Educación Diversificada	¢ 432.819,25
TOEG	Trabajador en Ocupación Especializada (Genérico)	¢ 476.866,07
TEdS	Técnico de Educación Superior	¢ 533.402,13
DES	Diplomado de Educación Superior	¢ 576.094,24
Bach.	Bachiller Universitario	¢ 653.427,21
Lic.	Licenciado Universitario	¢ 784.139,53

***Salario Mínimo Mensual.**

El Salario Mínimo que no tiene ninguna indicación (*),
está por jornada ordinaria

Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

El costo total del proyecto sumando los costos del sistema del hardware como el software da un total de €617956,00.

Ahora bien, no se logra localizar un sistema de luxómetro automatizado que tenga movilidad autónoma y que logre medir humedad, temperatura y que las mediciones se ejecuten desde un App fuera del alcance de las mediciones del sensor que no generen sombras al realizar la medición, se consultan páginas de internet como Google académico, repositorios, navegador de Google y plataformas de compra virtuales como Amazon. El luxómetro más similar por contar con un sistema de almacenamiento de mediciones es el Extech SDL470 UVA/UVC el cual almacena 99 lecturas manualmente y 20M lecturas a través de una tarjeta SD 2G en formato Excel (Amazon, 2025).

En la Figura 76 muestra algunas características del luxómetro modelo Extech SDL470 UVA/UVC y la imagen del luxómetro donde también se observa el costo del luxómetro.

Figura 76

Luxómetro que almacena datos



Fuente: De información obtenida del estudiante (Ulate Araya, 2024)

Como se observa en la Figura 76 el costo del producto es de \$1053,84 más el costo de envío de \$30,00 lo que da un total de \$1083,84, convertido a colones considerando en ¢500,00 el tipo de cambio actual da un resultado de ¢541920,00.

Comparando costos:

Costo económico del sistema automatizado: ¢617956,00

Costo económico del luxómetro Extech: ¢541920,00

A pesar de que el costo del luxómetro Extech es más barato, se considera viabilidad del proyecto de acuerdo con el análisis anterior ya que el sistema del luxómetro automatizado contempla mejores aplicaciones como lo es la movilidad autónoma, tomar fotografías al momento de realizar la medición, definir áreas a medir contemplando umbrales de máximos y mínimos donde el reporte final pueda indicar el cumplimiento o no cumplimiento.

5.5 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Las condiciones de funcionamiento del sistema robótico automatizado desarrollado tienen como objetivo garantizar la continuidad operativa, la confiabilidad de las mediciones y la integridad de los datos recolectados; el sistema, basado en un microprocesador Raspberry Pi 4, integra sensores de iluminación, temperatura y humedad, así como un sistema de movilidad autónoma y almacenamiento de información, por lo que requiere el cumplimiento de una serie de condiciones técnicas y operativas que se detallan a continuación.

En primer lugar, ante una interrupción del suministro eléctrico, el sistema debe iniciar de manera controlada una vez restablecida la alimentación, en esta etapa inicial, el operador deberá validar el correcto funcionamiento del sistema operativo mediante la ejecución del comando sudo

python3 InGraTeCamUltraTony1.py, con el fin de verificar que no existan errores que comprometan la estabilidad del sistema, posteriormente, se deberá ejecutar manualmente el script principal ubicado en el directorio “home”, el cual permite la inicialización de los procesos de adquisición, procesamiento y almacenamiento de los datos medidos, este procedimiento asegura que el sistema retome su operación normal sin afectar la confiabilidad de las mediciones, aspecto fundamental en sistemas embebidos orientados a la automatización (Revista Virtual, Universidad Católica del Norte, 2017).

Como parte de las medidas preventivas, se establece la necesidad de realizar un respaldo periódico del script principal alojado en el directorio “home” y de la base de datos, este respaldo permite la recuperación del sistema ante eventuales fallos del sistema operativo o pérdida de información crítica; para la correcta restauración del software, será requisito previo la instalación de la librería sudo apt update y sudo apt upgrade (Raspberry Pi, 2025), la cual garantiza la compatibilidad del entorno de ejecución y el adecuado funcionamiento del sistema, el respaldo y la correcta gestión del software resultan esenciales para asegurar la continuidad del servicio y la trazabilidad de los datos almacenados, tal como se expone en los sistemas de almacenamiento y repositorios de datos descritos por Astera (2025).

Por otra parte, el sensor BH1750, encargado de la medición de la luz, deberá ser inspeccionado de forma constante con el propósito de verificar su correcto desempeño. Esta validación se realizará mediante el comparativo con los equipos convencionales o contratando laboratorios especializados, el cual permite comprobar la comunicación entre el sensor y el microprocesador Raspberry Pi 4.

La revisión periódica del estado de los sensores es fundamental para evitar desviaciones en los valores medidos y asegurar la precisión del sistema, considerando que las condiciones ambientales pueden influir directamente en los resultados obtenidos (Rojas, 2022).

Adicionalmente, el sistema debe contar con una conexión estable a internet la cual puede ser tipo hotspot wifi, la cual permite la sincronización de datos, el respaldo remoto de la información y la actualización del sistema cuando sea requerido, la conectividad facilita la supervisión del funcionamiento del prototipo y contribuye a mejorar la gestión de los datos almacenados, especialmente cuando se requiere acceder a la información para su posterior análisis o generación de informes.

Finalmente, las condiciones de funcionamiento descritas se complementan con la autonomía energética del sistema, la cual depende del correcto desempeño del sistema de baterías implementado, según las pruebas realizadas, el sistema cuenta con una autonomía aproximada de una hora de operación continua, lo cual cumple con los objetivos específicos planteados en el proyecto y resulta adecuado para la ejecución de mediciones fotométricas en los escenarios definidos.

El cumplimiento de estas condiciones de funcionamiento permite asegurar la estabilidad del sistema robótico, la confiabilidad de las mediciones de iluminancia, temperatura y humedad, así como la integridad y disponibilidad de los datos recolectados durante el proceso de automatización.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta y analizan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior. El propósito es definir el desarrollo del proyecto con los datos recolectados y determinar en la medida de lo posible el cumplimiento con los objetivos planteados en la investigación.

A lo largo de este apartado se exponen los diseños que demanda el proyecto comparando y discutiendo las implicaciones de los estudios previos en relación con la problemática abordada.

6.1 CONCLUSIONES

Al finalizar el proyecto se determinan una serie de conclusiones que se enlistan a continuación:

- a. El proceso manual de medición fotométrica que utiliza actualmente LUMISENS presenta limitaciones críticas en la precisión y la confiabilidad de los datos, debido a factores como la intervención del operario y la ausencia de registros automáticos, tal como lo señala García Martínez (2023), la identificación de brechas permite reconocer debilidades en los procesos, lo cual coincide con las inconsistencias encontradas en la metodología manual empleada por la empresa.
- b. La automatización mediante un luxómetro móvil representa una solución eficiente y sustentada técnicamente, ya que la literatura confirma que el uso de sensores digitales con protocolos I²C y microcontroladores modernos mejora notablemente la calidad de medición (Villavicencio, (2017); Sendín, (2021)), esto refuerza la viabilidad de la propuesta diseñada para la empresa.
- c. El análisis cuantitativo del proyecto evidencia beneficios operativos significativos, como la reducción de tiempos, disminución del error humano y mayor estandarización del proceso, estos resultados se alinean con los principios expuestos por Hernández Sampieri

et al. (2010), quienes destacan que los estudios cuantitativos permiten medir impacto y eficiencia con base en datos verificables.

- d. El estudio teórico y tecnológico confirma la factibilidad del sistema automatizado, al identificarse componentes electrónicos adecuados como sensores BH1750, SHTC3 y baterías Li-Ion, cuyos beneficios han sido ampliamente documentados (Artal Sevil et al., (2014); Villavicencio, (2017)), esto demuestra que el prototipo responde a estándares modernos de automatización e IoT en ingeniería electrónica.
- e. La movilidad autónoma del sistema representa una solución al problema que genera los sistemas actuales, incrementando la confiabilidad de los datos de las mediciones obtenidas, al evitar las sombras a la hora de realizar las mediciones por ser manipulado y comandado por un operador desde una distancia alejada.
- f. Se integra al sistema información básica de los clientes, aspectos del estado de situación del área a medir y se agregan varios tipos de áreas en un solo sistema donde se pueda evaluar diferentes intensidades de luz con umbrales de cumplimiento o no cumplimiento en un solo reporte haciendo del sistema de automatización fácil y ágil de operación.

6.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se listan las conclusiones obtenidas durante toda la elaboración del proyecto:

- a. Continuar con pruebas de validación del prototipo en escenarios reales, considerando que la observación estructurada y la recolección sistemática permiten mejorar la confiabilidad del diseño (Ortega, 2024) estas pruebas permitirán ajustar calibraciones y garantizar la fidelidad de los datos.
- b. Es aconsejable implementar un programa de capacitación técnica para los usuarios finales, dado que la adopción de tecnologías automatizadas requiere competencias básicas en

operación y mantenimiento, tal como señalan Seivewright (2011) y Bahamonde Chicaiza (2020) en relación con el uso adecuado de sistemas IoT y dispositivos especializados.

- c. Se sugiere incorporar plataformas IoT y dashboards web que faciliten el análisis en tiempo real, siguiendo las recomendaciones de Bahamonde (2020), quien resalta el impacto positivo de los sistemas de notificaciones y monitoreo automatizado en la mejora de procesos industriales.
- d. Evaluar la escalabilidad del sistema incorporando tecnologías de mayor capacidad, especialmente baterías de larga duración o sistemas de navegación inteligente. Como indican Alcaraz Carrasco et al. (2022), los avances en robótica móvil permiten ampliar la autonomía y funcionalidad de dispositivos de exploración automatizada.
- e. El sistema limita la movilidad del sensor de luz BH1750 por lo que se recomienda crear un sistema móvil que pueda quitarle rigidez a una única altura y pueda ajustarse ya sea manual o automáticamente a diferentes alturas, como también incorporar sensores que puedan medir no solo horizontalmente, sino que se pueda medir verticalmente.
- f. El chasis y el sistema de movilidad solo permite desplazarse por áreas planas y de poco desnivel, por lo cual se aconseja realizar un sistema mecánico más robusto con un sistema de alimentación energética más potente que pueda operar en áreas irregulares o con césped y que pueda pasar objetos de cierta altura (BBC NEWS MUNDO, 2021).
- g. Se recomienda diseñar una interfaz gráfica con autenticación de usuario MFA para prevenir robos de contraseñas y ataques cibernéticos, ya sea por medio de un mensaje SMS o por medio de un escaneo digital (Microsoft, 2026).
- h. El sistema no cuenta con notificaciones como Grafana o ThingSpeak o alguna otra plataforma web, por lo que es parte del análisis de mejora incorporar este tipo de

comunicación que permita utilizar las funcionalidades de esas plataformas para generar un mejor servicio al cliente final.

BIBLIOGRAFÍA

- Chanchí Golondrino, G. E., Ospina Alarcón, M. A., & Campo Muñoz, W. Y. (2020). *Sistema IoT para el seguimiento y análisis de la intensidad de luz en plantas de interiores*. Cartagena, Colombia: Universidad de Cartagena, Colombia. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rcs.cic.ipn.mx/2020_149_11/Sistema%20IoT%20para%20el%20seguimiento%20y%20análisis%20de%20la%20intensidad%20de%20luz%20en%20plantas%20de%20interiores.pdf
- © 2025 DIAL GmbH. All rights reserved. (2025). *DIALux*. Obtenido de Lighting design with DIALux and BIM: https://www.dialux.com/en-GB/dialux-and-bim?gad_source=1&gad_campaignid=21610699330&gbraid=0AAAAADfd0faL-5MjCaGGQVn1NBylz4vPQ&gclid=CjwKCAjw2brFBhBOEiwAVJX5GDaOaBr7uSMJn9IMJG0myCh-DA0et_-rHnhTkc_XAesOwku_6GSl6RoCnQIQAvD_BwE
- © 2026 Oracle. (2026). *MySQL*. Obtenido de <https://www.mysql.com/>
- ©2026 Analog Devices, Inc. All Rights Reserved. (Noviembre de 2021). *I2C Communication Protocol: Understanding I2C Primer, PMBus, and SMBus*. Obtenido de <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/i2c-communication-protocol-understanding-i2c-primer-pmbus-and-smbus.html>
- AGROMATIC, S.A. (2016). *Luxometro digital Dr meter LX1330B*. Obtenido de <https://agromatic.com.pe/producto/176-luxometro-digital-dr-meter-lx1330b>
- Aguilar Carrasco, J. I., Cuevas Torres, O. M., & García López, I. F. (2023). Desarrollo de una aplicación móvil tipo luxómetro considerando los niveles mínimos de iluminación establecidos en la Norma Oficial Mexicana 025 STPS 2008. *TrasnDigital*, 23.
- Alcaraz Carrasco, M., Gudiño Lau, J., Zamora, Ó. I., Charre Ibarra, S., Alcalá Rodríguez, J., & Vélez Díaz, D. (2022). Robot submarino: estado del arte y diseño. *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 7. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/article/view/7950/8628>
- Altamirano Robles, L. (2024). *SUBSISTEMA DE DESCENSO EN CRÁTERES PARA ROVERS PLANETARIOS*. México: INAOE. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/2572/1/LEONSE_MCTE.pdf

- Amazon. (18 de Septiembre de 2019). *MakerFocus Raspberry Pi 4 batería UPS, placa de expansión V3Plus con batería de 10000 mAh, interfaz tipo C para RPI 5 4B 3B+ 3B 2B+*. Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/MakerFocus-Raspberry-bater%C3%ADa-expansi%C3%B3n-interfaz/dp/B07Y213F8S/ref=sr_1_1?crd=3RVM0RIVS324Z&dib=eyJ2IjoiMSJ9.q0Dd2cGHyD2t9rkn9b91NCerdypO453SrdeY_aqSLB_aPtIK_L9vndADQecC4su3C_yuVi0WY78sFcpOyiczUJBQRnkFvWVZtw5xHpeBIYSO
- Amazon. (2025). *Heramientas de calidad para obtener resultados profesionales*. Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/Extech-SDL470-UVA-Medidor-Datalogger/dp/B00M9AWQL0/ref=sr_1_1?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=18EARM97T1YIP&dib=eyJ2IjoiMSJ9.7rb1YnrG_1_NKuuxcCo_FrWzou_RNvd1KrV-gTGIgNx4rTwv836ibfPxWpJP6at8_tcmYZcxzBJUMPzLNdCd_
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas: EPISTEMA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://tauniversity.org/sites/default/files/libro_el_proyecto_de_investigacion_de_fidias_g_arias.pdf
- Artal Sevil , J., Domínguez Navarro , J., García Gracia , M., & Delgado Antillón , C. (2014). Acatas II Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad. En *REVISIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA APLICACIONES EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS (ROBOTS Y DRONES)* . Zaragoza: Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza.
- Astera. (5 de Marzo de 2025). *Repositorio de datos: definición, tipos y cuatro prácticas recomendadas*. Obtenido de <https://www.astera.com/es/type/blog/data-repository/>
- Babativa Novoa, C. A. (2017). *Investigación cuantitativa*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria del Área Andina. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://digitk.areandina.edu.co/server/api/core/bitstreams/30b26254-a8d2-4cd6-b44f-e107d90d3e6f/content>
- Bahamonde Chicaiza , D. J. (2020). DISEÑO DE LA RED INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN LA EMPRESA ROGER SPORT. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO*, 63. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18932/1/UPS%20-%20TTS040.pdf>
- BBC NEWS MUNDO. (18 de Febrero de 2021). *El Perseverance llega a Marte: el robot explorador de la NASA aterriza exitosamente en el planeta rojo*. Obtenido de El Perseverance llega a Marte: el robot explorador de la NASA aterriza exitosamente en el planeta rojo: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56120171>

- Budynas , R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. New York: Mc Graw Hill Education. Obtenido de https://www.academia.edu/50291767/Mechanical_Engineering_Design
- C&D Tecnología. (2024). *Sensor de luminosidad digital I2C TSL2561*. Obtenido de <https://cdtecnologia.net/sensores/1117-sensor-de-luminosidad-digital-i2c-tsl2561.html>
- Calixto Gómez, D. M. (2021). *APLICACIÓN DE UN ANÁLISIS DE BRECHAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CORROSIÓN EN UNA PLANTA DE HIDROCARBUROS*. Colombia: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/d6c838eb-d1fc-46d1-9e4f-65dff2b2d29/content>
- Casadiago López, J. D., & Barbieri, G. (2019). DISEÑO DE BANCO DE CALIBRACIÓN PARA SENSORES DE LUZ AMBIENTE. *Universidad de los Andes*, 4. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/39350>
- Challenger Pérez, I., Díaz Ricardo, Y., & Becerra García, R. A. (2014). *El lenguaje de programación Python/The programming language Python*. Holguín, Cuba: Ciencias Holguín. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.redalyc.org/pdf/1815/181531232001.pdf>
- Cisneros-Caicedo, A. J., Guevara-García, A. F., Urdánigo-Cedeño , J. J., & Garcés-Bravo, J. E. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia. 21. Obtenido de <file:///C:/Users/Jorge/Downloads/Dialnet-TecnicasEInstrumentosParaLaRecoleccionDeDatosQueAp-8383508.pdf>
- Copyright © 2000-2024 Dreamstime. (2024). *Dreamstime*. Obtenido de Fotómetro o luxómetro. Fotómetro para medir la luz en la escena en el fondo blanco: <https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-fot%C3%B3metro-o-lux%C3%B3metro-image70418043>
- Copyright © 2023 Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Costa Rica. (2023). *Salarios mínimos*. Obtenido de https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/salario_minimo.html
- Copyright 2026 © Grafana Labs. (2026). *Grafana dashboards*. Obtenido de <https://grafana.com/grafana/dashboards/>

- DeCarlo, M. (31 de octubre de 2022). *6.1: Enfoques micro, meso y macro*. Obtenido de [https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Ciencias_Sociales/Trabajo_Social_y_Servicios_Humanos/Investigacion_Cientifica_en_Trabajo_Social_\(DeCarlo\)/06%3A_Vinculaci%C3%B3n_de_los_m%C3%A9todos_con_la_teor%C3%ADa/6.01%3A_Enfoques_micro%2C_meso_y_macro](https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Ciencias_Sociales/Trabajo_Social_y_Servicios_Humanos/Investigacion_Cientifica_en_Trabajo_Social_(DeCarlo)/06%3A_Vinculaci%C3%B3n_de_los_m%C3%A9todos_con_la_teor%C3%ADa/6.01%3A_Enfoques_micro%2C_meso_y_macro)
- Dorador González, J. M., Ríos Murillo, P., Flores Luna, I., & Juárez Mendoza, A. (2004). *ROBOTICA Y PROTESIS INTELIGENTES*. *Revista Digital Universitaria*, 15. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://d1wqtxtslxzle7.cloudfront.net/7570483/art01_enero-libre.pdf?1390852280=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DROBOTICA_Y_PROTESIS_INTELIGENTES.pdf&Expires=1732764289&Signature=OVFcYoX
- Duarte Cristancho, J. (2007). El caracter de la investigación. En J. D. Cristancho, *FORMACIÓN PERMANENTE DE DOCENTES EN SERVICIO, ALTERNATIVA PARA LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA LENGUA ESCRITA EN LA EDUCACIÓN BÁSICA INTEGRAL* (pág. 6). España: Universitat Rovira I Virgili. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8931/8ELCARACTERDELA INVESTIGACIONVII.pdf;jsessionid=1038BA9096BDE07002FE582515434323?sequence=9
- Dumas, M. (2018). *Fundamentals of Business Process Management* (Vol. Segunda Edición). Springer.
- encuestas.com. (14 de Agosto de 2020). *encuestas.com*. Obtenido de Tipos de encuestas: ¿Cuál utilizar?: <https://encuesta.com/blog/tipos-de-encuestas-cual-utilizar/>
- Freire, L. O., Castillo, J. N., Zambrano, X. A., Corrales, B. P., & Naranjo, J. E. (2024). Sistemas domóticos como estrategia para la *risti*, 12. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/b9eb2966f749b0496924bf936cd3a2bb/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- García Martínez, J. (04 de enero de 2023). *Análisis GAP: ¿Qué es, cómo se hace y por qué es importante para las pymes y startups?* Obtenido de <https://www.deltaprotect.com/blog/analisis-gap-que-es>
- GRUPO ICE. (30 de Junio de 2025). *Laboratorio de Eficiencia Energética*. Obtenido de <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/electricidad/laboratorios/labeficienciaenergetica/servicios>

- Herederó Estebaranz, J. (2020). *Estudio y desarrollo Bot de Telegram*. Madrid: Universidad Politécnicá de Madrid.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación (6.ª ed.)*. México: Mc Graw Hill Education. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Hernández-Sampieri, R., & Paulina Mendoza, C. (2018). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf
- HYBRID. (03 de 06 de 2016). *Zenbo Ialah Asisten Digital Keluarga Berwujud Robot Lucu dari Asus*. Obtenido de 2024 All rights reserved. Hybrid.co.id: <https://hybrid.co.id/post/zenbo-ialah-asisten-digital-keluarga-berwujud-robot-lucu-dari-asus/>
- INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO). (2016). *Iluminación de los lugares de trabajo, Parte 1. Interiores*. INTECO, San José. Obtenido de https://www.academia.edu/44038407/INTE_ISO_8995_1_2016_ILUMINACION%93%93N_LUGARES_DE_TRABAJO_INTERIORES
- LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPÚBLICA DE COSTA RICA. (2010). *LEY PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS*. San José: La Gaceta N.º 135 . Obtenido de LEY PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS .
- LAIN HOLDING SOLUCIONES. (2024). *Sensor de humedad, temperatura y conductividad 100% IoT*. Obtenido de LAIN HOLDING SOLUCIONES: <https://lainholding.com/producto/sensor-de-humedad-conductividad-iot/>
- León Arroba, A. L. (2007). *Las primeras lámparas* . Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Lilliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Publishing*, 6.
- Lozano Banqueri, J. M. (Junio de 2018). *CREACIÓN Y GESTIÓN DE UNA BASE DE DATOS CON MYSQL Y PHPMYADMIN*. Obtenido de Universidad de Jaén - Facultad de

Ciencias Sociales y Jurídicas : chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://crea.ujaen.es/bitstream/10953.1/9445/1/TFG%20%285%29.pdf

LUMISENS, S.A. (1 de Enero de 2021). *CATALOGO DE LUMINARIAS LED*. Obtenido de <https://lumisens.com/wp-content/uploads/2022/09/CATALOGO2021.pdf>

Luna López, T., Martínez Cantú, A. G., & Patiño Zúñiga, I. A. (2024). *Validación de instrumentos virtuales de recolección de datos por juicio de expertos*. Nuevo León, México: CTES. Obtenido de <https://mail.ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/816/1072>

Martínez Bohórquez, M. A. (2011). SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN DE BAJO COSTE PARA LA MEDICIÓN DE IRRADIANCIA EN EL RANGO ESPECTRAL VISIBLE. 11. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jose-Andujar-Marquez/publication/270285011_Sistema_de_instrumentacion_de_bajo_coste_para_la_medicion_de_irradiancia_en_el_rango_espectral_visible/links/54ba4d450cf253b50e2b9941/Sistema-de-instrumentacion-de-bajo-coste-

McGowan, N. M. (2017). Medir la luz: la evolución hacia el fotómetro moderno1. *Arte, Individuo y Sociedad*, 18. doi:<http://dx.doi.org/10.5209/ARIS.54857>

Medrano Cerdas, J. L. (2004). *Tesina UH*. San José, Costa Rica: Universidad Hispanoamericana.

Medrano Cerdas, J. L. (2025). Maestría en Ciberseguridad con énfasis en gestión de la seguridad de la información. *Diseño de investigación sobre cibercrimen*, 21.

Microsoft. (2026). *Autenticación Multifactor de Microsoft Entra*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/security/business/identity-access/microsoft-entra-mfa-multi-factor-authentication>

Midebien. (29 de enero de 2016). *Historia de los patrones de fotometría*. Obtenido de Historia de los patrones de fotometría: <https://midebien.com/historia-de-los-patrones-de-fotometria/>

Moises Barrio, A. (2018). *HACIA UNA PERSONALIDAD ELECTRÓNICA PARA LOS ROBOTS*. San José, Costa Rica: EBSCO. Obtenido de <https://research.ebsco.com/c/4hbeqy/search/details/vckehsvrbr?db=fap>

Muguira, A. (1 de Enero de 2024). *QuestionPro*. Obtenido de Tipos de entrevistas y sus características: <https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-entrevista/>

Muñoz Fica, S. (2020). *INSTRUCTIVO PARA EVALUACIÓN DE LA LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN LOS LUGARES DE TRABAJO*. Santiago de Chile: Instituto de

Salud Pública. Obtenido de <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2021/02/Instructivo-Evaluacion-Iluminaci%C3%B3n-Iluminancia-v2-2021.pdf>

Nielsen, J. (2012). *Usability Engineering*. San Francisco: Morgan Kaufmann.

ORIENT DISPLAY. (2022). *¿Qué es una pantalla LCD? Introducción a la tecnología LCD | Orientar pantalla*. Obtenido de <https://www.orientdisplay.com/es/knowledge-base/lcd-basics/what-is-lcd-liquid-crystal-display/>

Ortega. (2024). *Métodos de observación científica aplicados a la ingeniería*. Editorial Tecnológica.

Ortega Castillo, J. M., & Vega Masís, Y. (2020). *Costa Rica National Stadium Lighting report - April 2020*. Reporte, FIFA U-20 Women's World Cup Costa Rica - Panama 2020, San Jose.

Ortega, C. (1 de Enero de 2024). *QuestionPro*. Obtenido de Métodos de observación: Características y tipos: <https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-de-observacion/>

Párraga Ortega, J. (2022). Diseño de un luxómetro para la medida de fuentes de luz para endoscopia. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/186486/Parraga%20-%20Diseno%20de%20un%20luxometro%20para%20la%20medida%20de%20fuentes%20de%20luz%20para%20endoscopia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PLEUS. (17 de 07 de 2023). *Iluminación industrial, características y beneficios*. Obtenido de <https://pleus.energy/iluminacion-industrial/iluminacion-industrial-caracteristicas-y-beneficios/>

Python Software Foundation. (27 de noviembre de 2025). *tkinter — Python interface to Tcl/Tk*. Obtenido de <https://docs.python.org/es/3.13/library/tkinter.html>

Quero Jiménez, M. (2019). *Sensor IoT para la medida del recurso solar disponible en automóviles*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://oa.upm.es/58748/1/TFG_MILAGROSA_QUERO_JIMENEZ.pdf

Ramos Galarza, C. (2021). DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL. *CienciAmérica*, 7.

Ramos-Silvestre, E. R., Morales-Guerrero, R., & Silva-Ortigoza, R. (2010). Modelado, simulación y construcción de un robot móvil de ruedas tipo diferencial. *Dialnet plus*,

10. Obtenido de file:///C:/Users/Jorge/Downloads/Dialnet-ModeladoSimulacionYConstruccionDeUnRobotMovilDeRue-3697986.pdf
- Raspberry Pi. (2025). *Raspberri Pi*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.com/products/>
- Revista Virtual, Universidad Católica del Norte. (24 de Mayo de 2017). Sistema de seguridad para locales mediante Raspberry Pi, cámara y sensor Pir *. *Revista Virtual, Universidad Católica del Norte*, 19. Obtenido de file:///C:/Users/Jorge/Downloads/yacevedoc,+11Artic-rev.pdf
- Reyes Cortés , F. (2012). *MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica*. México: Alfaomega. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HpN1EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=rob%C3%B3tica+electronica&ots=AQ9TdCW24f&sig=gN-z6b0tih6y0HpkREYTpUu-TGQ#v=onepage&q&f=false>
- Rojas, D. B. (2022). *Desarrollo de un sistema de calibración de Luxómetros por comparación, por medio de la variación de potencia de una lámpara LED*. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano, Facultad, Ciencias exactas.
- SciELO. (05 de Setiembre de 2024). *Entre Ciencia e Ingeniería*. Obtenido de Análisis Comparativo de Sensores de Temperatura, Humedad y Luminosidad para su Uso en Sistemas de Producción de Lombricompost: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-83672024000100032&script=sci_arttext#B35
- Seivewright, S. (2011). *Diseño e Investigación*. Barcelona: Gustavo Gili, SL.
- Sendín Montero, R. (2021). *DISEÑO DE LOS NODOS DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN LAS AULAS Y ESPACIOS DE LA ETSII-UPM*. Madrid-España: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/69240/7/TFG_RODRIGO_SENDIN_MONTERO.pdf
- Sommerville, I. (2016). *Software Engineering (10th ed.)*. England: Pearson Education.
- Stabilit. (2024). *Para que sirve el luxómetro?* Obtenido de Copyright © Stabilit es una compañía de grupo VERZATEC: https://www.stabilit.com/blog/para-que-sirve-el-luxometro/#&as_qdr=y15
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica(4ª ed.)*. México: LIMUSA. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso_de_la_investigacion_cientifica_Mario_Tamayo.pdf

Torres, G., A. X., & Losano, G., E. R. (2010). "*DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ROBOT DE BATALLA CONTROLADO MEDIANTE DISPOSITIVO BLUETOOTH*".

Riobamba-Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL CHIMBORAZO.

Tsang, H. S. (2021). *Informe de procesos y procedimientos*. San José, Pavas, Rohmoser: Documento privado de la empresa.

Ulate Araya, J. A. (08 de 2024). Elaboración propia. *Propiedad intelectual del estudiante*. Alajuela, Alajuela, Costa Rica.

UNIVERSAL ROBOTS. (08 de Diciembre de 2023). *Sensores en robótica: cuáles utilizar en sus aplicaciones*. Obtenido de <https://www.universal-robots.com/mx/blog/sensores-en-robotica-cuales-utilizar-en-sus-aplicaciones/>

Universiad Naval. (2020). *Metodología de la investigación*. México: SEMAR. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION.pdf

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (2015). *Cultura Científica y Tecnológica*. *CULCyT*, 99.

Universidad Hispanoamericana. (2018). *MANUAL PROYECTOS DE GRADUACIÓN INGENIERIA ELECTRÓNICA*. San José: Universidad Hispanoamericana.

Useche , M. C., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, É. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos*. Bogotá: UTADEO. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12010/36461>

Vera, J., Zambrano, D., Segura, C., Celada, D., & Zambrano, K. (2018). Sistema electrónico de un vehículo híbrido alimentado con energía renovable . *SENNOVA* , 10.

Villavicencio López, A. M., & León Toala, S. A. (2017). "*DISEÑO DE UN SISTEMA BASADO EN SENSORES PARA EL CONTROL DE ACCESO, TEMPERATURA E ILUMINACIÓN DE LABORATORIOS DE LA FIEC*". Guayaquil-Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/44484>

GLOSARIO

- LCD: Liquid Crystal Display
- IC: Inter Integrated Circuit
- Raspberry Pi: Ordenador de placa reducida programable.
- Wifi: Tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos.
- Sensor: Dispositivo capaz de percibir magnitudes físicas y transformarlas en variables eléctricas.
- DIALux Evo: software de diseño de iluminación.
- Luxómetro: aparato que mide la intensidad de la luz
- Lux: unidad de medida por metro cuadrado.
- Iluminancia: Magnitud Del flujo luminoso que incide sobre la unidad de superficie, y cuya unidad en el sistema internacional es el lux.
- Fotometría: Medición de la intensidad de la luz
- GUI: Interfaz Gráfica de usuario
- Python: Lenguaje de programación

ANEXO

Pizzero (cocinero) ¹	TOC ²	€13.767,45 ³
Procesador-inventarios (band bell) ⁴	TOC ²	€13.767,45 ³
Programador-computación (sin título) ⁵	TOE ⁶	€15.983,96 ⁷
Programador-en-radioemisoras ⁸	TOE ⁶	€15.983,96 ⁷
Proveedor ⁹	TOCG ¹⁰	€413.023,64 ¹¹
Recepcionista ¹²	TOSCG ¹³	€399.203,69 ¹⁴
Recolector-de-basura ¹⁵	TONC ¹⁶	€12.236,95 ¹⁷
Recolector-de-café-por-cajuela ¹⁸		€1.165,11 ¹⁹
Recolector-de-coyol ²⁰	TONC ¹⁶	€12.236,95 ¹⁷
Relojero ²¹	TOC ²	€13.767,45 ³
Reposter ²²	TOC ²	€13.767,45 ³
Sabanero ²³	TONC ¹⁶	€12.236,95 ¹⁷
Sacristán ²⁴	TONC ¹⁶	€12.236,95 ¹⁷
Seleccionador-manual-de-residuos ²⁵	TONC ¹⁶	€12.236,95 ¹⁷
Salonero ²⁶	TONC ¹⁶	€12.236,95 ¹⁷
Sastre (Prendas a la-medida) ²⁷	TOE ⁶	€15.983,96 ⁷
Secretaria ²⁸	TOCG ¹⁰	€413.023,64 ¹¹
Secretaria ²⁹	TMED ³⁰	€432.819,25 ³¹
Secretaria ³²	DES ³³	€576.094,24 ³⁴
Secretaria ³⁵	Bach ³⁶	€653.427,21 ³⁷
Secretaria ³⁸	Lic. ³⁹	€784.139,53 ⁴⁰
Secretaria ⁴¹	TOE ⁶	€15.983,96 ⁷
Señalgrafista (realiza-diseño) ⁴²	TOC ²	€13.767,45 ³
Señalgrafista (Estampa-diseños) ⁴³	TOC ²	€13.767,45 ³
Soldador (Soldaduras Especiales) ⁴⁴	TOE ⁶	€15.983,96 ⁷
Soldador-en-general ⁴⁵	TOC ²	€13.767,45 ³
Talador (usa sierra-de-motor) ⁴⁶	TOC ²	€13.767,45 ³
Tapicero ⁴⁷	TOC ²	€13.767,45 ³
Tatuador ⁴⁸	TOC ²	€13.767,45 ³
Taxista ⁴⁹	TOC ²	€13.767,45 ³
Técnico-en-aire-acondicionado ⁵⁰	TOC ²	€13.767,45 ³
Técnico-en-aparatos-ortopédicos ⁵¹	TES ⁵²	€24.805,47 ⁵³
Técnico-en-lentes-de-contacto ⁵⁴	TES ⁵²	€24.805,47 ⁵³
Técnico (refrig.-doméstica/industrial) ⁵⁵	TES ⁵²	€24.805,47 ⁵³
Técnico (máq. coser ind. especiales) ⁵⁶	TES ⁵²	€24.805,47 ⁵³
Técnico-reparación-audio-y-video ⁵⁷	TES ⁵²	€24.805,47 ⁵³
Telefonista ⁵⁸	TOSCG ¹³	€399.203,69 ¹⁴
Tornero-en-metala ⁵⁹	TOE ⁶	€15.983,96 ⁷
Trabajo-doméstico ⁶⁰		€258.376,22 ⁶¹
Tractorista (Oruga o Lianta) ⁶²	TOC ²	€13.767,45 ³
Vagonetero ⁶³	TOC ²	€13.767,45 ³
Verduler ⁶⁴	TOSCG ¹³	€399.203,69 ¹⁴
Volanter ⁶⁵	TONC ¹⁶	€12.236,95 ¹⁷
Zapater ⁶⁶	TOC ²	€13.767,45 ³

Estos salarios contienen, en relación con los salarios mínimos del Decreto N° 44293-MTSS, un incremento del 2,37% para todas las categorías del Decreto de Salarios Mínimos. Además para el Trabajo Doméstico se le otorga un 2,33962% adicional (Resolución CNS-RG-2-2019). Asimismo, se aplica un incremento adicional a la categoría salarial de TOEG de un 0,5562880% incluida en la (Resolución CNS-RG-6-2020); aumentos que se aplican posterior a la aplicación del aumento general¹

La lista de salarios mínimos se clasifica con base en los Perfiles Ocupacionales, documento aprobado por el Consejo Nacional de Salarios (Resolución Administrativa 03-2000). Esta lista es una guía ilustrativa, elaborada de conformidad² con esos perfiles, contiene algunas ocupaciones seleccionadas por el Departamento de Salarios Mínimos. Las ocupaciones aquí incluidas se basan en las tareas típicas conocidas, por lo que un puesto determinado podría tener una clasificación distinta según sus características y responsabilidades específicas³

CONSULTAS DE SALARIOS

✉ consulta.salarios@mtss.go.cr
 📞 salario.minimo@mtss.go.cr

☎ **2256-2221, 2233-0347, 2222-2168**

CONSULTAS LABORALES

📞 **Llamada gratuita: 800-TRABAJO (800-872-2256)**

💬 **Chat institucional: www.mtss.go.cr**

En Costa Rica, de acuerdo con la Constitución Política, el salario será siempre igual para trabajo igual en idénticas condiciones de eficiencia. Además, no se pueden establecer diferencias por consideración de edad, sexo, nacionalidad o etnia



LISTA DE SALARIOS MÍNIMOS¹ SECTOR PRIVADO² AÑO 2025³

Según Decreto N° 44756-MTSS, publicado en La Gaceta N° 232, del 10 de diciembre del 2024⁴
Rige a partir del 01 de enero del 2025⁵

SIGLAS Y SALARIOS MÍNIMOS

TONC	Trabajador en Ocupación No Calificada	€ 12.236,95
TOSC	Trabajador en Ocupación Semicalficada	€ 13.306,79
TOC	Trabajador en Ocupación Calificada	€ 13.767,45
TOE	Trabajador en Ocupación Especializada	€ 15.983,96
TES	Trabajador de Especialización Superior	€ 24.805,47
TONCG	Trabajador en Ocupación No Calificada (Genérico)	€ 367.108,55
TOSCG	Trabajador en Ocupación Semicalficada (Genérico)	€ 399.203,69
TOCG	Trabajador en Ocupación Calificada (Genérico)	€ 413.023,64
TMED	Técnico Medio en Educación Diversificada	€ 432.819,25
TOEG	Trabajador en Ocupación Especializada (Genérico)	€ 476.866,07
TEIS	Técnico de Educación Superior	€ 533.402,13
DES	Diplomado de Educación Superior	€ 576.094,24
Bach.	Bachiller Universitario	€ 653.427,21
Lic.	Licenciado Universitario	€ 784.139,53

¹ Salario-Mínimo-Mensual
² El Salario-Mínimo que no tiene ninguna indicación (*) está por jornada ordinaria³

Para mayor información y debido a que se han hecho circular algunas listas alteradas, se sugiere consultar personalmente en el Departamento de Salarios Mínimos, en Barrio Tourón, Edificio Centro-Comercial Tourón, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, primer piso.

Esta lista está disponible en: www.mtss.go.cr

DOCUMENTO GRATUITO
Prohibida su reproducción y venta