



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Electromecánica

Diseño e implementación de un prototipo de control de iluminación analógico, para mantener el nivel de iluminancia en función de la luz natural para el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la UNL

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero Electromecánico.**

AUTOR:

Josmani Miguel Pacheco Macas

DIRECTOR:

Ing. Raúl Alberto Chávez Romero, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2024

Certificación

Loja, 23 de diciembre de 2024

Ing. Raúl Alberto Chávez Romero

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular del grado denominado: **Diseño e Implementación de un prototipo de control de iluminación analógico, para mantener el nivel de iluminancia en función de la luz natural para el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la UNL**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, de autoría del estudiante **Josmani Miguel Pacheco Macas**, con **cédula de identidad Nro. 0704716679**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Raúl Alberto Chávez Romero. Mg, Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Josmani Miguel Pacheco Macas**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí del Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 0704716679

Fecha: 03 de diciembre de 2024

Correo electrónico: josmani.pacheco@unl.edu.ec

Celular: 0980748342

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Josmani Miguel Pacheco Macas**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño e Implementación de un prototipo de control de iluminación analógico, para mantener el nivel de iluminancia en función de la luz natural para el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la UNL**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Electromecánico** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de diciembre del dos mil veinticuatro.

Firma:

Autor: Josmani Miguel Pacheco Macas

Cédula: 0704716679

Dirección: Av. Eloy Alfaro

Correo electrónico: josmani.pacheco@unl.edu.ec

Celular: 0980748342

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Raúl Alberto Chávez Romero, Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación al padre celestial, con profundo agradecimiento y cariño, quiero dedicar mi tesis a ti. Tu apoyo incondicional, motivación y consejos han sido fundamentales para mi éxito académico. Sin tu constante ánimo y comprensión, este logro no habría sido posible.

A mis padres Segundo Miguel Pacheco Puglla y Verónica del Cisne Macas Espinosa, por inculcarme valores tan importantes como la perseverancia, el esfuerzo y la disciplina, que me han permitido llegar hasta aquí. Gracias por ser mi fuente de inspiración y motivación en cada uno de mis logros y desafíos.

A mi amada esposa María Karolina Hidalgo Monteros por ser mi compañera incondicional en este viaje, por tu paciencia, apoyo y amor que nunca han flaqueado, y por creer en mí incluso en los momentos en los que yo dudaba.

A mis hermanos quiero expresar mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo, amor y dedicación que me han brindado a lo largo de mi trayectoria académica.

Josmani Miguel Pacheco Macas

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por su amor incondicional, su apoyo y paciencia en cada etapa de mi vida y especialmente durante mi carrera universitaria. Gracias por ser mi principal motivación, por su confianza en mí y por siempre estar presentes en cada logro y desafío que he enfrentado.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han sido parte importante en la realización de esta tesis, ya que sin su apoyo, dedicación y colaboración este trabajo no habría sido posible.

También quiero agradecer a mis hermanos por su compañía, por estar siempre dispuestos a escuchar y brindarme su apoyo en todo momento. Gracias por su paciencia y comprensión en aquellos momentos en los que debía dedicarme completamente a mi tesis.

A la Universidad Nacional de Loja, gracias por brindarme la oportunidad de formarme académicamente, por contar con un excelente cuerpo docente y por fomentar el desarrollo de habilidades y conocimientos necesarios para enfrentar los retos del mundo laboral.

En especial, quiero agradecer al Ing. Raúl Chávez por su guía, paciencia y dedicación durante la realización de mi tesis. Sus conocimientos y experiencia fueron fundamentales para la conclusión de este trabajo. Gracias por su valioso tiempo, por brindarme sus conocimientos y por siempre estar disponible para aclarar mis dudas.

A mis compañeros de carrera, gracias por compartir conmigo esta etapa de formación, por la amistad, por las experiencias compartidas y por brindarme su apoyo y colaboración en momentos clave.

Finalmente, quiero agradecer a todos los integrantes del CITE que, de una u otra forma, contribuyeron en la realización de esta tesis. Gracias por su tiempo, por su colaboración, por sus aportes y por ser parte de esta importante etapa en mi formación académica.

Josmani Miguel Pacheco Macas

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xv
Índice de anexos	xvii
Simbología	xviii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1 Capítulo I: Luz	7
4.1.1 Luminotecnia	7
4.1.2 Magnitudes fundamentales	7
4.1.2.1 El flujo luminoso.....	7
4.1.2.1.1 Constante de utilización Cu y mantenimiento Cm.	8
4.1.2.2 La intensidad luminosa.	10
4.1.2.3 La iluminancia.	10
4.1.2.4 La luminancia.....	11
4.1.3 Nivel de iluminación adecuada dentro de un aula	11
4.1.4 Norma para instalación de circuitos de iluminación.....	12
4.2 Capítulo II: Sistemas de control analógicos y digitales.	13
4.2.1 Señales analógicas	13
4.2.2 Señales digitales.....	13
4.2.3 Drivers de potencia en el control atenuación de iluminación	13
4.2.3.1 Regulación por control de fase (TRIAC).....	14
4.2.3.2 Regulación por Modulación de Ancho de Pulso (PWM).	14
4.2.4 Tipos de luminarias adecuadas dentro de las aulas.....	15

4.2.4.1	Tipos de lámparas.	15
4.2.4.1.1	Lámparas LED.	15
4.2.4.1.2	Lámparas incandescentes.	16
4.2.4.1.3	Lámparas fluorescentes.	16
4.2.4.1.4	Comparación entre luminarias.	16
4.2.5	Panel LED dimerizable.	17
4.2.6	Sensores para control de iluminación.	17
4.2.6.1	Sensor de luminosidad.	17
4.2.6.2	Sensor de movimiento.	18
4.2.6.3	Multisensor.	19
4.2.6.3.1	Limitador de voltaje ajustable.	21
4.3	Capítulo III: Dispositivos de medición y control	21
4.3.1	Dispositivos electrónicos para medición de nivel de iluminación.	21
4.3.1.1	Luxómetro.	21
4.3.1.2	CRUNCHY Byte box.	22
4.3.1.3	Smart Luxmeter.	22
4.3.2	Dispositivos de medición de consumo energético.	22
4.3.2.1	Pinza Amperimétrica.	22
4.3.2.2	Medidor inteligente.	22
4.3.3	Dispositivos de control o automatización.	23
4.3.3.1	Arduino Uno.	23
4.3.3.1.1	Componentes placa de Arduino.	24
4.3.3.2	Raspberry.	25
4.3.3.3	PLC (Programmable Logic Controller).	26
4.4	Capítulo IV: Análisis económico y energético	26
4.4.1	Precio de consumo eléctrico.	26
4.4.2	Proyección de ahorro energético en términos económicos.	27
4.4.2.1	Valor actual neto (VAN).	28
4.4.2.2	Tasa interna de retorno (TIR).	28
4.4.2.3	Error relativo y porcentual.	28
4.5	Capítulo V: Cálculo de iluminación artificial dentro de aulas	29
4.5.1	Método de los lúmenes.	29
4.5.1.1	Flujo luminoso total necesario.	29
4.5.1.2	Cálculo de número de luminarias.	29

4.5.1.3	Emplazamiento de luminarias.....	30
4.5.1.4	Comprobación de que el sistema instalado cumpla con los requisitos.....	31
4.5.2	Método del punto por punto.....	31
4.5.3	Software de ayuda Dialux.....	31
4.6	Capítulo VI: Domótica	32
4.6.1	Arquitectura centralizada.....	32
4.6.2	Arquitectura distribuida.....	33
4.6.3	Control automático de iluminación.....	34
4.6.4	Interfaz de iluminación con direccionamiento digital (DALI).....	36
4.6.4.1	Control DALI BROADCAST.....	36
4.6.4.2	Control DALI UNIVERSO.....	37
4.6.4.3	Análisis económico de sistemas DALI.....	38
5.	Metodología	40
5.1	Área de trabajo	40
5.2	Equipos y materiales.....	40
5.2.1	Equipos.....	40
5.2.2	Materiales.....	41
5.3	Procedimiento.....	41
5.3.1	Nivel de iluminación dentro del Aula A312.....	42
5.3.1.1	Selección del método de cálculo.....	42
5.3.1.2	Método de los lúmenes.....	42
5.3.1.2.1	Datos de entrada del área.....	42
5.3.1.2.2	Definición de plano de trabajo.....	42
5.3.1.2.3	Nivel de iluminación dentro del aula.....	42
5.3.1.2.4	Lámpara y luminaria.....	43
5.3.1.2.5	Altura que se colocaron las luminarias.....	43
5.3.1.2.6	Coeficiente de utilización.....	43
5.3.1.2.7	Coeficiente de mantenimiento.....	44
5.3.1.2.8	Flujo luminoso.....	44
5.3.2	Diseño de sistema de control automático de iluminación.....	45
5.3.2.1	Lluvia de ideas para construcción de SCAI.....	46
5.3.2.2	Equipos del sistema.....	46
5.3.2.3	Diagrama de instalación.....	46
5.3.2.4	Algoritmo para control de iluminación.....	46

5.3.2.5	Construcción de sistema de control automático de iluminación (SCAI).....	47
5.3.2.6	Emplazamiento de luminarias y SCAI.....	48
5.3.2.6.1	Cálculo de número de luminarias.	48
5.3.2.6.2	Emplazamiento de luminarias.....	48
5.3.2.6.3	Comprobación de que el sistema instalado cumpla con los requisitos. ...	48
5.3.2.6.4	Emplazamiento de sistema de control.....	48
5.3.3	Pruebas de funcionamiento y comparación de los sistemas antiguos con el SCAI	48
5.3.3.1	Instalación de equipo de medición.....	48
5.3.3.2	Recopilación de información.	48
5.3.3.3	Análisis de gráficas y datos obtenidos.	49
5.3.4	Proyección de ahorro energético.....	50
5.3.4.1	Primer paso: Establecer aulas tipo.	51
5.3.4.2	Segundo paso: Modelación de aulas tipo en Dialux.	51
5.3.4.3	Tercer paso: Emplazamiento de equipo SCAI.....	51
5.3.4.4	Cuarto paso: Análisis energético.	51
5.3.4.5	Quinto paso: Análisis económico	51
5.4	Procesamiento y análisis de datos.....	53
5.4.1	Nivel de iluminación dentro del Aula A312	53
5.4.1.1	Datos de entrada del área	53
5.4.1.2	Definición de plano de trabajo.....	54
5.4.1.3	Nivel de iluminación dentro del aula	54
5.4.1.4	Lampara y luminaria	54
5.4.1.5	Coefficiente de utilización	56
5.4.1.6	Coefficiente de mantenimiento	57
5.4.1.7	Flujo luminoso	57
5.4.2	Diseño de sistema de control automático de iluminación.....	58
5.4.2.1	Lluvia de ideas para construcción de SCAI.....	58
5.4.2.2	Equipos del sistema.....	59
5.4.2.3	Diagrama de instalación.....	60
5.4.2.4	Algoritmo para control de iluminación.....	60
5.4.2.5	Condiciones para distintas etapas del control.	61
5.4.2.5.1	Etapa 1.	61
5.4.2.5.2	Etapa 2.	62

5.4.2.5.1	Etapa 3.	62
5.4.2.5.1	Etapa 4.	62
5.4.2.6	Construcción de SCAI.	63
5.4.2.7	Emplazamiento de luminarias y SCAI.....	65
5.4.2.7.1	Cálculo de número de luminarias.	65
5.4.2.7.2	Emplazamiento de luminarias.....	65
5.4.2.7.3	Comprobación de que el sistema instalado cumpla con los requisitos. ...	67
5.4.3	Pruebas de funcionamiento y comparación de los sistemas antiguos con SCAI.67	
5.4.3.1	Instalación de equipo de medición.....	67
5.4.3.2	Recopilación de información.	69
5.4.4	Cálculo de número de luminarias	70
5.4.4.1	Primer paso: Establecer aulas tipo.	70
5.4.4.2	Segundo paso: Modelación de aulas tipo en Dialux.	71
5.4.4.3	Tercer paso: Emplazamiento de equipo SCAI.....	73
5.4.4.4	Cuarto paso: Análisis energético.	73
5.4.4.5	Quinto paso: Análisis económico	73
6.	Resultados.....	75
6.1	Nivel de iluminación para el aula A312	75
6.2	Construcción de sistema de control automático de iluminación	75
6.2.1	Equipos seleccionados para construcción.....	75
6.2.2	Diseño final de sistema de control.....	76
6.3	Pruebas de funcionamiento en Aula A312.....	76
6.3.1	Implementación de sistema de iluminación y control.....	77
6.3.1.1	Sistema de iluminación.	77
6.3.2	Primera prueba de funcionamiento de sistema de control (sin implementar en aula)	79
6.3.3	Segunda prueba de funcionamiento de sistema de control (implementado en el aula)	79
6.4	Análisis comparativo de sistemas	80
6.4.1	Datos obtenidos de sistema antiguo.....	81
6.4.2	Datos obtenidos de sistema actual	82
6.4.3	Comparativa entre sistemas	83
6.5	Proyección de ahorro al implementar SCAI en bloque A3.....	84
6.5.1	Proyección de ahorro energético.....	87

6.5.2	Proyección de ahorro económico.....	92
6.5.2.1	Primera propuesta	92
6.5.2.2	Segunda propuesta	93
6.5.2.3	Comparativa entre propuestas.....	95
6.5.3	Resumen de consumos de sistema antiguo y SCAI proyectados.....	95
7.	Discusión	98
8.	Conclusiones	101
9.	Recomendaciones	102
10.	Bibliografía	103
11.	Anexos	107

Índice de tablas

Tabla 1. Selección de tipo de iluminación e índice del local k.....	8
Tabla 2. Valores de coeficiente de reflexión.....	8
Tabla 3. Valores de coeficiente de utilización Cu.	9
Tabla 4. Valores de iluminación en interiores de acuerdo a norma UNE 12464.1.....	12
Tabla 5. Código de colores para instalaciones eléctricas.....	12
Tabla 6. Comparativa entre luminarias.	16
Tabla 7. Cargos tarifarios únicos para categoría general.	27
Tabla 8. Comparativa entre sistemas de salón 216B de la EPN.	34
Tabla 9. Análisis económico de implementación de protocolo DALI.....	39
Tabla 10. Valores obtenidos de coeficientes estándar.	43
Tabla 11. Valores para corrección de coeficiente de utilización para luminarias estándar. ...	44
Tabla 12. Dimensión de aula A312.....	53
Tabla 13. Características de panel LED dimerizable.....	54
Tabla 14. Valores para coeficiente de utilización.	56
Tabla 15. Datos para corrección de coeficiente de utilización dentro del aula A312.....	57
Tabla 16. Equipos a utilizar en el sistema SCAI.....	59
Tabla 17. Variables de primera parte usadas en el algoritmo de control del SCAI.....	61
Tabla 18. Posibles configuraciones para ser implementadas en aula A312.....	66
Tabla 19. Especificaciones de medidor inteligente eMylo	68
Tabla 20. Consumo con sistema antiguo en el aula A312 desde lunes 10 de julio de 2023 hasta viernes 14 de julio de 2023.....	69
Tabla 21. Datos de consumo de SCAI en el aula A312 desde el 17 de julio de 2023 hasta el 21 de julio de 2023.....	70
Tabla 22. Distribución de aulas tipo para posterior dimensionamiento de sistema de iluminación.	70
Tabla 23. Modelación en software Dialux.....	72
Tabla 24. Resultados de nivel de iluminación.	75
Tabla 25. Comparación entre metodología para obtención de flujo luminoso.	75
Tabla 26. Equipos seleccionados para construcción.....	76
Tabla 27. Voltajes obtenidos de medición de salida de SCAI.....	79
Tabla 28. Valores obtenidos en segunda prueba de funcionamiento una vez implementado en el aula A312.....	80

Tabla 29. Análisis comparativo entre sistema antiguo de iluminación y sistema de iluminación LED Dimerizable.	81
Tabla 30. Valores obtenidos mediante software Dialux aplicado a cada aula del bloque 3. ...	85
Tabla 31. Equipos necesarios para implementar SCAI en todo el bloque 3 de la facultad de energía.	85
Tabla 32. Consumo anual proyectado mediante potencia instalada del bloque 3.	87
Tabla 33. Consumo de bloque 3 medido por software de recopilación de datos Emporia que está conectado a equipo de medición.	88
Tabla 34. Consumo de luminarias proyectado de sistema de iluminación LED.	89
Tabla 35. Consumo de luminarias proyectado de SCAI.	90
Tabla 36. Análisis energético de sistema de control implementado a cada aula del bloque 3.	90
Tabla 37. Consumo por área de sistema antiguo y SCAI en un periodo de 01/07/23 al 31/07/23	91
Tabla 38. Análisis económico de sistema de control automático implementado al bloque 3.	92
Tabla 39. Método de VAN y TIR aplicado a la vida útil del sistema con el ahorro obtenido.	93
Tabla 40. Método de VAN y TIR aplicado con la segunda propuesta.	94
Tabla 41. Análisis comparativo de propuestas económicas de SCAI.	95
Tabla 42. Resumen de valores de consumo mensual de sistemas proyectados en el bloque 3 de la FEIRNNR.	95

Índice de figuras

Figura 1. Nivel de iluminación de cierta área mediante una luminaria.	10
Figura 2. Señal analógica.....	13
Figura 3. Señal digital.....	13
Figura 4. Control de atenuación de LED por regulación Triac.	14
Figura 5. Control de atenuación de LED por regulación PWM.	14
Figura 6. LED con las partes que lo conforman.	15
Figura 7. Lámparas fluorescentes.	16
Figura 8. Desempeño fotométrico.	17
Figura 9. Detector de movimiento PIR.....	19
Figura 10. Multisensor 0-10V e-controls.....	19
Figura 11. Vista de planta y vista lateral del infrarrojo de sensor de movimiento.	20
Figura 12. Tensión de salida respecto al nivel de luz medido.	20
Figura 13. Módulo regulador de voltaje LM2596	21
Figura 14. Medidor inteligente eMylo.....	23
Figura 15. Diagrama de cableado.	23
Figura 16. Placa Arduino Uno R3	24
Figura 17. Raspberry pi y sus componentes.	26
Figura 18. Emplazamiento de luminarias.	30
Figura 19. Interfaz de Dialux.....	32
Figura 20. Topología de red estrella.	33
Figura 21. Sistema de domótica distribuida.....	34
Figura 22. Ahorro producido por ajuste de atenuación de las luminarias	35
Figura 23. Ahorro producido por Sensores de Ocupación.....	35
Figura 24. Configuración de sistema DALI con control BROADCAST.	37
Figura 25. Configuración de sistema DALI con control UNIVERSO.	38
Figura 26. Vista superior del bloque A3 de la FEIRNNR.....	40
Figura 27. Flujograma para cumplir el primer objetivo.....	45
Figura 28. Flujograma para cumplimiento de sistema de control de luminarias LED dimerizables.....	47
Figura 29. Grafica de consumo eléctrico del mes de junio mediante medidor inteligente.....	49
Figura 30. Flujograma que representa el procedimiento de resolución del tercer objetivo....	50
Figura 31. Flujograma para cumplimiento de proyección de ahorro energético.....	52
Figura 32. Dimensiones del aula A312 en versión 3D.	53

Figura 33. Área rectangular para cálculo de luxes.....	54
Figura 34. Viga que atraviesa el Aula A312.....	55
Figura 35. Alturas de luminarias y aula.....	56
Figura 36. Lluvia de ideas para selección de equipos para sistema de control automático de iluminación.....	58
Figura 37. Diagrama de cableado de SCAI.....	60
Figura 38. Primera parte de algoritmo para control automático.....	61
Figura 39. Algoritmo para control de iluminación etapa 1.....	62
Figura 40. Algoritmo para control de iluminación etapa 2.....	62
Figura 41. Algoritmo para control de iluminación etapa 3.....	62
Figura 42. Algoritmo para control de iluminación etapa 4.....	63
Figura 43. Proceso de construcción de base de SCAI.....	63
Figura 44. Interior donde está ubicado el sistema de control.....	64
Figura 45. Cableado interno de SCAI.....	64
Figura 46. Elaboración de segunda base para Multisensor.....	65
Figura 47. Instalación de medidor inteligente.....	68
Figura 48. Medidor inteligente eMylo instalado.....	69
Figura 49. Configuración escogida para implementar en aulas A312.....	77
Figura 50. Sistema de iluminación implementado en el aula A312.....	78
Figura 51. Disposición de nodos del sistema de control ubicados en el aula A312.....	78
Figura 52. Implementación de sistema de control en el aula A312.....	79
Figura 53. Consumo eléctrico de sistema de iluminación antiguo medido por equipo Emylo.....	82
Figura 54. Consumo eléctrico de SCAI medido por equipo Emylo.....	83
Figura 55. Gráfica de comparación de consumos entre los dos sistemas de estudio.....	84
Figura 56. Consumo en aulas de bloque A3 de sistema antiguo vs SCAI.....	91
Figura 57. Consumo mensual de los diferentes sistemas presentados.....	97

Índice de anexos

Anexo 1. Planos y circuitos eléctricos del sistema de control automático de iluminación. .107	
Anexo 2. Fichas técnicas de los equipos usados..... 115	
Anexo 3. Simulación obtenida por Dialux de aula A312. 135	
Anexo 4. Certificación del director de Trabajo de Integración Curricular..... 141	
Anexo 5. Certificación de traducción. 142	

Simbología

Φ_T = Flujo luminoso que necesita una determinada área (Lúmenes)

E_m = Nivel de iluminación medio (Lux).

S = Superficie a iluminar (m^2).

C_u = Coeficiente de utilización.

C_m = Coeficiente de mantenimiento.

I = Intensidad Luminosa (cd).

UGR_L = Límite de Índice de Deslumbramiento Unificado UGR

R_a = Índices de rendimiento de colores

$d\Phi_T$ = Flujo luminoso que necesita una determinada área (Lúmenes).

$d\Omega$ = Unidad de ángulo sólido en una dirección (estereorradián).

Φ_T = Flujo luminoso que necesita una determinada área (Lúmenes)

N_{ancho} = Número de luminarias ubicadas a lo ancho de la superficie.

N_T = Número total de luminarias dentro del espacio a iluminar.

b = Largo del aula (en m).

a = Ancho del aula (en m).

NA = Normalmente abierto.

NC = Normalmente cerrado.

C = Común.

SCAI= Sistema de control automático de iluminación

E_p = Error porcentual

V_r = Valor real

V_e = Valor experimental o valor medido

TFT= Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display o pantalla de cristal líquido de transistores de película fina.

CO_2 = Dióxido de carbono

DALI= Interfaz de iluminación direccionable digital

S/= Soles (Moneda peruana)

1. Título

Diseño e Implementación de un prototipo de control de iluminación analógico, para mantener el nivel de iluminancia en función de la luz natural para el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la UNL.

2. Resumen

En este trabajo se realiza la implementación de un sistema de control automático de iluminación (SCAI) en el aula A312 del bloque 3 de la Facultad de Energía. El sistema se desarrolló tomando en consideración las normativas presentes en el ámbito tanto nacional como internacional como lo son la norma UNE 12464,1 NOM-025-STPS y NEC 15,1,11,3,1 con la finalidad de cumplir el nivel de iluminación de 300 luxes en el plano de trabajo ubicado a 85 cm del suelo, para generar un ahorro económico y energético. El sistema que se ha implementado posee la característica de que se lo puede adaptar según el requerimiento del usuario. El cual inicialmente posee dos modos de uso; automático y proyección, para el primer modo el nivel de iluminación se ajusta automáticamente dependiendo de la iluminación natural presente en el ambiente y para el segundo modo los paneles LED reducen su flujo luminoso al mínimo para así tener un mejor confort visual a la hora de una presentación. El control del sistema de iluminación está asignado a un Arduino, y los valores de iluminación están respaldados por el software Dialux. El análisis comparativo muestra que el sistema automático de iluminación logra ahorros de 71,33%, ya que se pasó de tener un consumo semanal de 4,73 kWh a tener un consumo semanal de 1,13 kWh. Sin embargo, la limitación en el mercado nacional sugiere la necesidad de explorar otras opciones para una gestión más eficiente de la iluminación y el ahorro energético. Los diferentes enfoques y casos estudiados reflejan la importancia de adaptar las estrategias según las circunstancias y necesidades específicas, teniendo énfasis en la eficiencia energética y el cuidado medioambiental. Además, se resalta una creciente responsabilidad en el ámbito de la iluminación para cumplir con dichos objetivos.

Palabras clave: SCAI, Nivel de flujo luminoso, Dialux, Sistema de iluminación LED, Ahorro energético

Abstract

In this work the implementation of an automatic lighting control system (SCAI) in the A312 classroom of block 3 of the School of Energy is carried out. The system was developed taking into consideration national and international regulations such as UNE 12464,1 NOM-025-STPS and NEC 15,1,11,3,1 in order to comply with the lighting level of 300 lux in the work plane located 85 cm from the floor, to generate economic and energy savings. The system that has been implemented has the characteristic that it can be adapted according to the user's requirements. It initially has two modes of use; automatic and projection, for the first mode the lighting level is automatically adjusted depending on the natural lighting present in the environment and for the second mode the LED panels reduce their luminous flux to a minimum in order to have a better visual comfort at the time of a presentation. The control of the lighting system is assigned to an Arduino, and the lighting values are supported by Dialux software. The comparative analysis shows that the automatic lighting system achieves savings of 71,33%, as it went from having a weekly consumption of 4,73 kWh to having a weekly consumption of 1,13 kWh. However, the limitation in the national market suggests the need to explore other options for more efficient lighting management and energy savings. The different approaches and case studies reflect the importance of adapting strategies according to specific circumstances and needs, with an emphasis on energy efficiency and environmental care. In addition, it highlights a growing responsibility in the lighting field to meet these objectives.

Keywords: SCAI, Luminous flux level, Dialux, LED lighting system, Energy saving

3. Introducción

Un sistema de iluminación nace a raíz de la necesidad del ser humano de iluminar la oscuridad, se ha convertido en una norma fundamental dentro de la construcción de cada edificio, casa, escuela, etc. De acuerdo a la Norma Europea de iluminación de interiores (2002) se plantea que la iluminación interior en los establecimientos educativos es fundamental para el desarrollo de cada una de las actividades que se realicen en los mismos, las normas indican la cantidad de luz que debe estar presente en los planos de trabajo, pero no todas las edificaciones tanto públicas como privadas cumplen con este requerimiento.

Este proyecto presenta una propuesta para tener un buen uso de la energía en sistemas de iluminación dentro de las aulas educativas, lo que constituye el uso eficiente de la energía eléctrica, de esta manera se obtendría beneficios económicos y energéticos. Una deficiencia en el sistema de iluminación puede producir un aumento de la fatiga visual, reducción en el rendimiento del personal que labora en las instalaciones, incremento en los errores y en ocasiones incluso accidentes (INSHT, 2015).

Existen diversos sistemas de control de iluminación dentro del mercado, tales como sistemas de control manual que logran un bajo desempeño en términos de eficiencia energética debido a que no usan fotosensores para la regulación de las luminarias. El uso de sensores que midan la iluminación presente en el ambiente es una tecnología relativamente nueva, es por ello que unificar estas tecnologías para desarrollar un sistema automático debería ser fundamental en la construcción de nuevos espacios. Comparando con lo realizado por Sanchez (2022) en su trabajo de titulación “Sistema de iluminación LED automatizado para el edificio 3 de la Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja e implementación de prototipo” donde evalúa la iluminación de las aulas del bloque 3 de la FEIRNNR y se determina que ciertas aulas no cumplen con lo establecido en la norma, de igual forma da a conocer que cierta cantidad de luminarias está en mal estado en cada una de las plantas del bloque A3. Se busca que con la implementación de estos sistemas se logre disminuir el consumo eléctrico en un 40%. De igual forma Salinas (2022) en el trabajo de titulación “Evaluación del ahorro energético en cuanto a iluminación proyectando medidas de arquitectura sostenible y control de iluminación mediante la domótica, para mejorar la eficiencia energética del Bloque 3 de la FEIRNNR” al momento de hacer un estudio de iluminación en las aulas, se pudo comprobar que no cumple con la Norma UNE 12464.1, por lo que es vital realizar un rediseño del sistema de iluminación e implementar un sistema de iluminación con luz led dimerizable, es por eso que con este tema se busca ir un

paso más allá y emplear un sistema que cumpla los estándares y que sea eficiente, aprovechando la iluminación natural y consiguiendo un menor uso de la luz artificial.

El tema que se aborda implementa un sistema de control analógico para mantener un nivel adecuado de iluminancia en función de la luz natural del aula A312, donde estudios previos arrojan que no se cumple con los niveles de iluminación mínima según la UNE 12464.1. Al implementar el sistema diseñado se podrá generar ahorro económico y fomentará el uso eficiente de la energía. Este tipo de sistemas no deberían ser un extra dentro de un aula si no un implemento básico. En el ámbito educativo, una correcta iluminación permite que tanto estudiantes como profesores mejoren su desempeño, en lo que corresponde al consumo energético, se verá una disminución significativa debido a que se usa únicamente la energía necesaria para mantener el nivel adecuado de iluminación lo que representa una disminución de la demanda energética y beneficios para el medio ambiente por la reducción de emisiones de CO².

Con base en lo expuesto, se ha planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de control de iluminación artificial en función del nivel de iluminación presente en el entorno, para el aula A312 de la Universidad Nacional de Loja, con el fin de mantener la iluminancia estandarizada dentro de las aulas.

Objetivos específicos

- Calcular el nivel de iluminación adecuado en el aula A312 de la Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja.
- Diseñar el sistema de control eléctrico, determinar los componentes para el prototipo de control analógico e implementarlo en el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja.
- Realizar pruebas de funcionamiento y comparar el sistema de control existente con el sistema de control automático implementado.
- Proyectar ahorro energético y económico si se implementara el control en el bloque A3 de la FEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja.

4. Marco teórico

4.1 Capítulo I: Luz

La luz la podemos definir como la concentración de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas que tienen la capacidad de afligir un cambio en el órgano visual. Las ondas viajan en el espacio en forma transversal y las mismas no dependen de un medio para poder propagarse. La luz está compuesta a base de partículas energizadas denominadas fotones, donde el grado de energía y frecuencia es el encargado de determinar la longitud de onda y el color (León, 2007).

4.1.1 Luminotecnia

Según León (2007), “La luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación, es decir, es el arte de la iluminación con luz artificial para fines específicos” (p.3).

Podemos decir que la luminotecnia se enfoca en el diseño, planificación y ejecución de sistemas de iluminación artificial en diferentes ambientes y espacios, con el objetivo de mejorar la calidad visual, funcional y estética de los mismos.

Para comprender de mejor manera la luminotecnia y cuál es la finalidad de encontrar el nivel de iluminancia adecuado dentro de una determinada área, primero debemos saber que magnitudes físicas nos ayudan a su correcta comprensión.

4.1.2 Magnitudes fundamentales

4.1.2.1 El flujo luminoso.

Lo podemos definir como la cantidad de energía irradiada por una superficie en un cierto intervalo de tiempo, su unidad de medida es el vatio (Gozalo, 2017).

El flujo luminoso que una determinada área necesita se lo puede calcular de acuerdo con la **Ecuación 1**, descrita a continuación:

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \quad (1)$$

Donde:

Φ_T = Flujo luminoso que necesita una determinada área (Lúmenes)

E_m = Nivel de iluminación medio (Lux).

S = Superficie a iluminar (m^2).

El flujo luminoso se encuentra afectado por dos coeficientes: de utilización (C_u) y de mantenimiento (C_m).

C_u = Relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa.

C_m = Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

4.1.2.1.1 Constante de utilización C_u y mantenimiento C_m .

El coeficiente de utilización según Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor (2011) “la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo” (p.6) para encontrar este coeficiente debemos primero saber los siguientes datos de entrada: Índice del local k y coeficiente de reflexión.

El índice k lo encontraremos de acuerdo a la **Tabla 1**, para escoger la fórmula que sea más conveniente debemos plantearnos qué sistema de iluminación conviene dentro de un aula, según García (2016) una iluminación indirecta se dirige hacia el techo donde el observador no ve ningún tipo de luminaria, únicamente el flujo luminoso sobre el área de trabajo, este tipo de iluminación presenta una menor eficiencia energética. Por otra parte, la iluminación directa es el sistema tradicional conocido, donde apreciamos la luminaria y tenemos una mayor eficiencia energética debido a que no depende de un medio para que se refleje el flujo luminoso.:

Tabla 1. Selección de tipo de iluminación e índice del local k

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa.	$k = \frac{a * b}{h * (a + b)}$
Iluminación indirecta y semidirecta	$k = \frac{3 * a * b}{2 * (h + h') * (a + b)}$

Fuente: (Castilla, Blanca, Martinez, & Pastor, 2011)

Luego de esto debemos escoger el coeficiente de reflexión que mayor se acople a nuestro espacio a iluminar, y evaluamos de manera directa los parámetros que corresponde a nuestra aula, esto de acuerdo a la **Tabla 2**:

Tabla 2. Valores de coeficiente de reflexión.

Pintura/color	Coefficiente de reflexión
Blanco	0,70-0,85
Acústico blanco	0,50-0,65
Gris claro	0,40-0,50
Gris oscuro	0,10-0,20

Pintura/color	Coefficiente de reflexión
Negro	0,03-0,07
Crema, amarillo claro	0,50-0,75
Marrón claro	0,30-0,40
Marrón oscuro	0,10-0,20
Rosa	0,45-0,55
Rojo claro	0,30-0,50
Rojo Oscuro	0,10-0,20
Verde claro	0,45-0,65
Verde oscuro	0,10-0,20
Azul claro	0,40-0,55
Azul oscuro	0,05-0,15

Fuente: (Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor, 2011)

De acuerdo a estas dos variables de entrada tendremos ya lo necesario para encontrar el coeficiente de utilización, el cual se lo obtiene de la **Tabla 3**:

Tabla 3. Valores de coeficiente de utilización Cu.

Tabla de corrección					
Techo	0,70	0,70	0,70	0,50	0
Pared	0,70	0,50	0,20	0,20	0
Suelo	0,50	0,20	0,20	0,10	0
k (0.6)	77	58	49	48	45
k (1.0)	100	77	69	67	63
k (1.5)	116	91	84	80	77
k (2.5)	129	100	95	90	86
k (3.0)	133	103	99	93	89

Fuente: (Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor, 2011)

Tomando lo dicho por Espinosa (2016) el coeficiente de mantenimiento tiene relación con el grado de limpieza que hay dentro de un área de trabajo el cual pondremos valores de 0,8 si el ambiente en el que estamos permanece en constante mantenimiento y limpio, y un valor

de 0,6 si el área de trabajo permanece sucia y sin mantenimiento. En caso de que el estudio se realizará en exterior se puede tomar un valor de 0,5.

4.1.2.2 La intensidad luminosa.

La intensidad luminosa o radiante de forma conceptual se puede decir que es el flujo de energía por unidad de ángulo sólido en una dirección determinada. La unidad para medir la intensidad luminosa es el lumen por estereorradián, que es la equivalencia de la unidad candela (Gozalo, 2017).

Esta magnitud la podemos calcular mediante la **Ecuación 2**:

$$I = \frac{d\Phi_T}{d\Omega} \quad (2)$$

I = Intensidad Luminosa (cd).

$d\Phi_T$ = Flujo luminoso que necesita una determinada área (Lúmenes).

$d\Omega$ = Unidad de ángulo sólido en una dirección (estereorradián).

4.1.2.3 La iluminancia.

Álvarez (2015) plantea que la iluminancia es el cociente del flujo luminoso que incide sobre un elemento que esté ubicado dentro de una determinada superficie que contiene el punto por el área de ese elemento, para entender mejor el concepto se muestra la **Figura 1** que indica el nivel de iluminancia de una zona de trabajo.

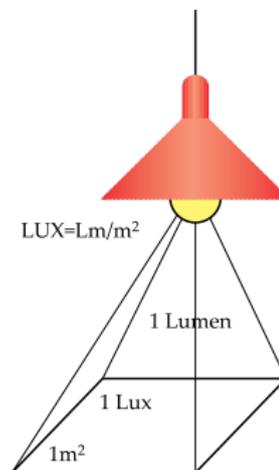


Figura 1. Nivel de iluminación de cierta área mediante una luminaria.

Fuente: (INSHT, 2015)

La podemos representar con el símbolo E y su unidad es el lux, la iluminancia la podemos calcular mediante la **Ecuación 3**, descrita a continuación:

$$E = \frac{\Phi_T}{S} \quad (3)$$

Φ_T = Flujo luminoso que necesita una determinada área (Lúmenes)

S = Superficie a iluminar (m²).

4.1.2.4 La luminancia.

Según Álvarez (2015) la luminancia o también denominada brillo fotométrico “Se define como la intensidad luminosa por unidad de superficie aparente de una fuente de luz primaria (que produce la luz) o secundaria (que refleja la luz)”.

4.1.3 Nivel de iluminación adecuada dentro de un aula

Cuando requerimos iluminar un espacio de trabajo no podemos escoger cualquier nivel, este nivel debe estar estandarizado por una norma que distinga la adecuada para cada tipo de tarea visual. Es por eso que partimos de la Norma Oficial Mexicana (NOM) o también llamada por sus acrónimos (NOM-025-STPS, 2008). Esta norma toma en cuenta las diferentes características de confort lumínico y visual, todo esto para encontrar los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo.

Según la NOM-025-STPS (2008) la tarea visual del puesto de trabajo para la distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina enfocada a un área de trabajo como: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas debemos obtener una iluminación mínima de 300 luxes.

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) (2011) en la parte 15.1.11.3.1. indica que el nivel mínimo que debe cumplirse dentro de una sala de clases corresponde a 300 lx.

Señalando lo propuesto por la Norma Europea para iluminación de interiores (UNE 12464.1) “La iluminación de las distintas dependencias que componen un centro educativo, deben estar dotadas de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y suficiente, según las muy variadas tareas y actividades que se desarrollan durante todo el periodo de enseñanza” (p. 5). Esto quiere decir que una iluminación adecuada brinda a los estudiantes y profesores un entorno agradable y estimulante, con un confort visual que les permite llevar a cabo sus actividades sin esforzarse demasiado visualmente. Esto ayuda a reducir la fatiga causada por una iluminación inapropiada.

Es por ello que la normativa española propone los valores de iluminación adecuados que debe haber dentro de las aulas, presentados en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Valores de iluminación en interiores de acuerdo a norma UNE 12464.1.

Tipo de interior, tarea o actividad	Em (Lux)	UGR _L	C _m	R _a	Observaciones
Aulas, Aulas de tutoría	300	19	0,6	80	Iluminación controlable
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	0,6	80	Iluminación controlable
Sala de lectura	500	19	0,6	80	Iluminación controlable para varias A/V necesarias
Pizarra	500	19	0,7	80	Deben evitarse reflexiones especulares
Mesa de demostraciones	500	19	0,7	80	En salas de lectura recomendable 750 Lux.

Fuente: UNE 12464.1

4.1.4 Norma para instalación de circuitos de iluminación

Según la NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción) de los autores Sandoya, Chica, Ordoñez, & Arias (2018), las instalaciones de circuitos eléctricos para alimentar un sistema de iluminación no deben ser mayor a 15 amperios y no debe exceder a 15 puntos de iluminación. También nos da las siguientes reglas para su construcción e instalación:

- El calibre del conductor del neutro debe ser igual al conductor de las fases.
- En circuitos de iluminación se utiliza conductor de cobre aislado tipo THHN con una sección mínima de 2,5 mm² (14 AWG) para la fase, el neutro y conductor de tierra.
- Para identificar las fases de los conductores se debe utilizar el siguiente código de colores de acuerdo a la **Tabla 5**.

Tabla 5. Código de colores para instalaciones eléctricas.

Código de colores	
Conductor	Color
Neutro	Blanco
Tierra	Verde, verde con franja amarilla
Fase	Rojo, Azul, Amarillo, Negro o cualquier otro color diferente a neutro y tierra.

Fuente: (Sandoya, Chica, Ordoñez, & Arias, 2018)

4.2 Capítulo II: Sistemas de control analógicos y digitales.

4.2.1 Señales analógicas

Las señales analógicas son variables eléctricas que se presentan en un rango de tiempo en forma análoga a alguna variable de una magnitud física (temperatura, luminosidad, humedad, etc.) para tener claro cómo está construida una señal analógica se presenta **Figura 2** donde encontrados los datos obtenidos en un determinado tiempo (Miyara, 2004).

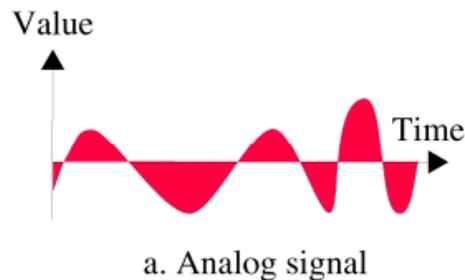


Figura 2. Señal analógica

Fuente: (Fernández, 2014)

4.2.2 Señales digitales

A diferencia de las señales analógicas, las señales digitales cambian en el tiempo mediante señales “finitas” que varían de acuerdo con un código programado. Según Miyara (2004) “Cada nivel eléctrico representa uno de dos símbolos: 0 ó 1, V o F, etc. Los niveles específicos dependen del tipo de dispositivos utilizado”. Es decir que una señal digital puede tomar de entre dos valores posibles. Para entender cómo funciona una señal digital presentamos un ejemplo en la **Figura 3**.

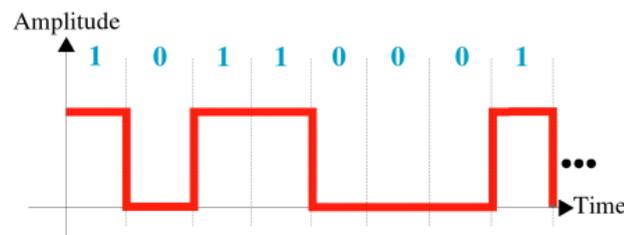


Figura 3. Señal digital

Fuente: (Fernández, 2014)

4.2.3 Drivers de potencia en el control atenuación de iluminación

Cuando se desea implementar un sistema de control automático de iluminación obligatoriamente se debe implementar un driver de potencia, en el mercado podemos encontrar diversos tipos de drivers para realizar esta tarea entre los cuales tenemos:

4.2.3.1 Regulación por control de fase (TRIAC).

Para Rincón (2017) “Su funcionamiento se basa en recorte de la onda de corriente alterna (AC), con un ángulo de regulación proporcional a la fase de la onda AC donde ocurre el corte” (p. 11).

Para el control de iluminación de una luminaria LED se realiza por medio de la regulación por TRIAC como se observa en la **Figura 4**, donde se aprecia que quien regula la atenuación es el dimmer, el cual controla el recorte de fase del TRIAC (Rincón, 2017).

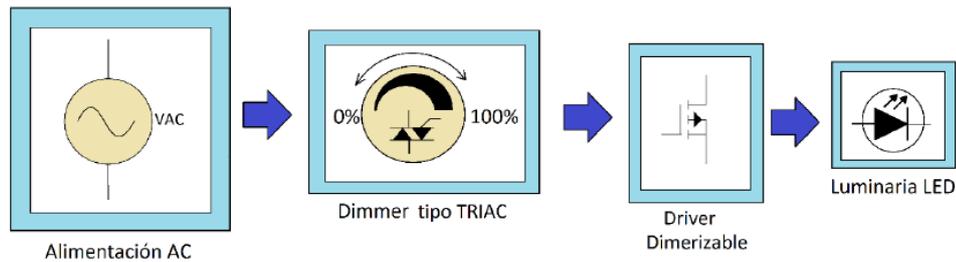


Figura 4. Control de atenuación de LED por regulación Triac.

Fuente: (Rincón, 2017)

4.2.3.2 Regulación por Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

Para una regulación mediante PWM los LEDs se encienden y apagan, pero la frecuencia es lo suficientemente elevada para asegurar que no sea perceptible a la vista y que esté fuera del rango. El control se lleva a cabo ajustando el ciclo de trabajo (duty cycle) de la corriente inyectada a los LEDs. Donde se puede decir que tendremos un mayor brillo en la luminaria Led cuando mayor sea el ciclo de trabajo. Este sistema se encuentra caracterizado según la **Figura 5** presentada a continuación.

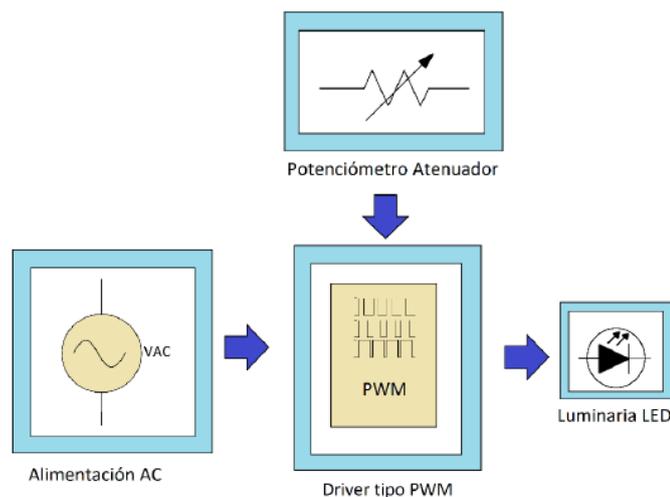


Figura 5. Control de atenuación de LED por regulación PWM.

Fuente: (Rincón, 2017)

4.2.4 Tipos de luminarias adecuadas dentro de las aulas

Cuando se requiere iluminar un área de trabajo debemos analizar primero que características presenta, esto ayudará a escoger una luminaria con una distribución del flujo luminoso adecuado.

Dentro de las aulas se puede observar la presencia de pantallas, pizarrón, monitores, por lo que se requiere controlar el deslumbramiento reflejado. Por esto es necesario un tipo de luminaria con pantallas y difusores (Beltrán, 2015).

4.2.4.1 Tipos de lámparas.

Como ya sabemos, una lámpara es un dispositivo que genera luz artificial con el uso de la electricidad. Por lo general, consta de una fuente de luz, como una bombilla incandescente o LED, y un sistema que proporciona energía a la fuente de luz. Estas luces se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde la iluminación del hogar y la oficina hasta la iluminación de calles y automóviles (Peralta, Romero, & Toledo, 2007).

4.2.4.1.1 Lámparas LED.

En la **figura 6** se detalla que un LED es un dispositivo que contiene en su interior un material semiconductor que, al recibir una corriente eléctrica de baja intensidad, produce luz. La luz generada por este dispositivo tiene un color específico y no genera calor, a diferencia de muchos otros dispositivos de iluminación convencionales (ElectroSertec, 2016).

El color de la luz emitida depende de los materiales utilizados en su fabricación, en particular del semiconductor, que puede abarcar desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, incluyendo todos los colores visibles al ojo humano (ElectroSertec, 2016).

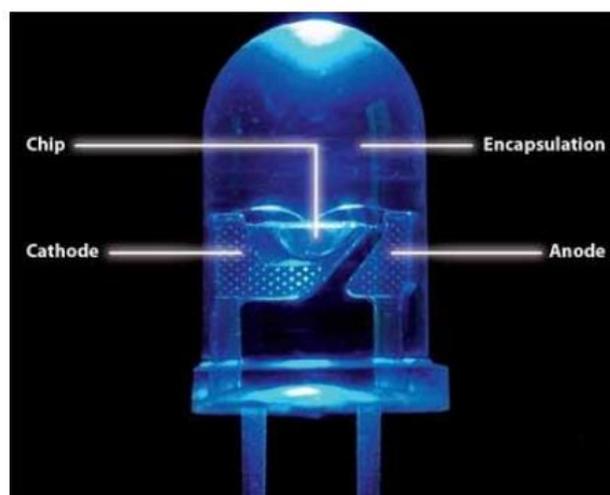


Figura 6. LED con las partes que lo conforman.

Fuente: (ElectroSertec, 2016)

4.2.4.1.2 Lámparas incandescentes.

Este tipo de lámparas se caracterizan por un rendimiento luminoso bajo, de entre a 10 y 20 lm/W, con una temperatura de color que oscila entre los 2 700 °K y puede durar encendida cerca de 1 000 horas, suelen usarse en el alumbrado general y en interiores siempre y cuando la altura de funcionamiento no sea muy elevada (MHEducation, 2010).

4.2.4.1.3 Lámparas fluorescentes.

Según MHEducation (2010) “Son lámparas de descarga eléctrica en atmosfera de vapor de mercurio a baja presión y un gas inerte cuyo efecto luminoso se basa en el fenómeno de la fluorescencia” (p.189).

Se puede apreciar en la **figura 7** las lámparas fluorescentes son conocidas por su eficiencia energética, ya que consumen menos energía en comparación con las lámparas incandescentes tradicionales. Además, tienen una vida útil más larga y producen menos calor. Sin embargo, requiere un balasto (un dispositivo auxiliar) para regular la corriente eléctrica y encender la lámpara correctamente (MHEducation, 2010).



Figura 7. Lámparas fluorescentes.

Fuente: (Signify, 2023)

4.2.4.1.4 Comparación entre luminarias.

Según Arévalo (2022), las luminarias LED tienen una evidente superioridad frente las opciones que podemos encontrar en el mercado, se realizó una comparación entre las mismas, que podemos apreciar en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Comparativa entre luminarias.

Características	LED	Fluorescentes	Incandescentes
Durabilidad	Alta	Baja	Baja
Encendido instantáneo	Si	Ligero retardo	Si
Efecto de encender y apagar de forma cíclica	Ninguno	Reduce su vida útil	Efecto medio
Emisión de calor	Bajo	Medio	Alto

Características	LED	Fluorescentes	Incandescentes
Número de reemplazos luego de 50 000 horas de uso	1	5	4
Efecto contaminante	Ninguno	5mg de mercurio	Ninguno

Fuente: (Arévalo, 2022)

Además de las ventajas presentadas frente a sus directos competidores, una luminaria LED también posee dos características que mejoran notablemente tanto el confort visual como el ahorro energético, una de ellas es la capacidad de controlar el color en cada uno de los espectros de luz que son visibles y otra es la dimerización que es el control sobre la cantidad de iluminación que puede ofrecer, esto es ideal al momento de querer implementar sistemas de control sobre luminarias (Arévalo, 2022).

4.2.5 Panel LED dimerizable

En la **figura 8** se detalla que los paneles LED es un conjunto de luminarias de baja potencia y alto poder luminoso, uno de los paneles comerciales más usados dentro del país (Ecuador), son los de la marca VCP ecolightins, un panel hermético que posee un grado de protección IP 40 con una eficacia de 110 lm/W y un ángulo de distribución de luz de 120°. A continuación, podemos ver su desempeño fotométrico (ecolightins, 2018).

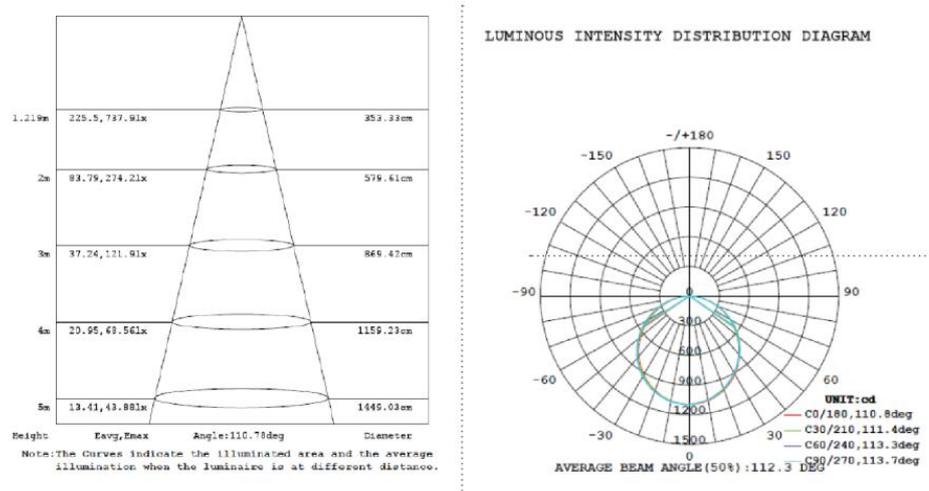


Figura 8. Desempeño fotométrico.

Fuente: (ecolightins, 2018)

4.2.6 Sensores para control de iluminación

4.2.6.1 Sensor de luminosidad.

Se trata de un aparato con la capacidad de convertir magnitudes físicas o químicas, conocidas como variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación varían según el tipo de sensor y pueden incluir elementos como la temperatura,

la intensidad de luz, la distancia, la aceleración, la inclinación, el desplazamiento, la presión, la fuerza, la torsión, la humedad, entre otros (Miranda, 2009).

Uno de los principales sensores es el Light Dependent Resistor (LDR) se trata de un elemento electrónico que experimenta una reducción en su resistencia cuando la intensidad de la luz que incide sobre él aumenta. También es conocido como fotorresistor, fotoconductor, célula fotoeléctrica o resistor dependiente de la luz. El fotorresistor se compone de un semiconductor con una resistencia temprana alta (Miranda, 2009).

También tenemos el fototransistor de silicio de radiación visible que comparte similitudes con un diodo semiconductor convencional, pero posee una característica muy especial según Bolaños (2010) “es un dispositivo que permite el paso de corriente eléctrica en proporción a la cantidad de luz que lo impacta (lo ilumina)” (p.1). La corriente eléctrica que fluye a través del fotodiodo se dirige en sentido contrario a la flecha del diodo y se conoce como corriente de fuga. El fotodiodo tiene la capacidad de funcionar como un detector de luz, ya que transforma la luz en electricidad, y es esta variación en la corriente eléctrica la que se utiliza para indicar un cambio en el nivel de iluminación que incide sobre el fotodiodo (Bolaños, 2010).

4.2.6.2 Sensor de movimiento.

Conforme se muestra en la **figura 9**, los sensores PIR son utilizados para detectar el movimiento. Su funcionamiento se basa en la medición de la radiación infrarroja emitida por los objetos, la cual está relacionada con su temperatura. El sensor captura esta radiación y la convierte en una señal eléctrica (Bellavista, 2016).

Según el Instituto de Educación secundaria de Sevilla (2016) “El sensor en sí está dividido en dos mitades. Si ambas reciben la misma cantidad de infrarrojos la señal eléctrica resultante es nula” (p.1). Cuando un objeto en movimiento entra dentro del rango de detección del sensor PIR, cada mitad del sensor recibe una radiación infrarroja distinta. Esto genera la generación de una señal eléctrica. Para que el sensor funcione correctamente, se requiere una cúpula de plástico que contenga lentes. Estas lentes se encargan de enfocar la radiación infrarroja hacia cada una de las mitades del sensor (Bellavista, 2016).



Figura 9. Detector de movimiento PIR.

Fuente: (Bellavista, 2016)

4.2.6.3 Multisensor.

Se puede apreciar en la **figura 10**, el Multisensor sensor combina un detector de movimiento y un sensor de luminosidad para monitorear la ocupación y el nivel de luz en un área específica de un edificio. Su objetivo principal es facilitar la gestión eficiente de la iluminación, con el fin de lograr un ahorro de energía óptimo en la instalación. Este equipo se encarga de medir el nivel de luz y transmitir esta información al sistema de control correspondiente para su procesamiento. Además, el sensor de movimiento permite encender y apagar automáticamente las luces, lo que resulta en un ahorro energético considerable cuando la zona está desocupada (e-controls, 2012).



Figura 10. Multisensor 0-10V e-controls.

Fuente: (e-controls, 2012)

Observamos en la **figura 11** el sensor de movimiento cuenta con dos reguladores, tales como el relé para que se mantenga activado en un intervalo de tiempo y otro que permite regular el nivel de detección de luminosidad para que accione el sensor de movimiento. Cuando el sistema está en reposo, la salida del relé se encuentra en la posición normalmente abierta (NA) y en contacto con la posición de reposo (C). Sin embargo, cuando se detecta movimiento en el

área de detección, la salida del relé cambia su estado cerrando el contacto a la posición normalmente cerrada (NC) y en contacto con la posición de reposo (C) durante un tiempo predefinido por el temporizador. Después de transcurrido este tiempo, el relé vuelve a cambiar a su estado inicial en la posición normalmente abierta (NA) y en contacto con la posición de reposo (C). Cabe destacar que el contador de tiempo se reinicia cada vez que se detecta un nuevo movimiento (e-controls, 2012).

Según la empresa e-controls (2012), el área de detección del sensor de movimiento cuando esta ubicado a 2.5 m de altura representa el siguiente diagrama de luces infrarrojo PIR, basado en 17 lentes que proporcionan un mecanismo altamente preciso de detección, formado por 68 zonas de detección.

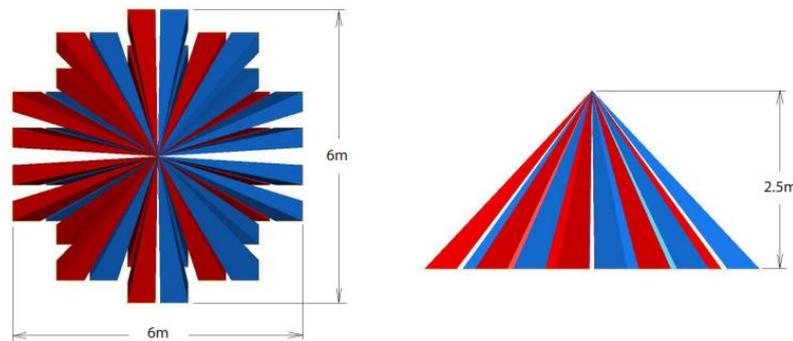


Figura 11. Vista de planta y vista lateral del infrarrojo de sensor de movimiento.

Fuente: (e-controls, 2012)

De igual manera, el equipo cuenta con una bornera de salida de 0-10 V que indica la cantidad de luminosidad presente en el ambiente mediante un voltaje de salida siendo 0 lux equivalente a 0 voltios y 1 000 lux equivalente a 10 voltios, para comprender mejor esta relación mostramos la **Figura 12**.

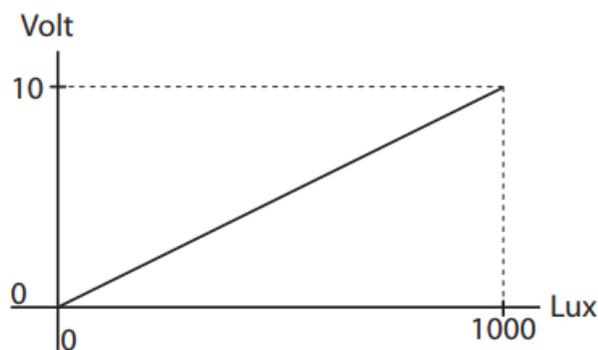


Figura 12. Tensión de salida respecto al nivel de luz medido.

Fuente: (e-controls, 2012)

Para poder transportar el voltaje obtenido del mismo sensor hasta una placa de programación es necesario incorporar un limitador de voltaje.

4.2.6.3.1 Limitador de voltaje ajustable.

Como se muestra en la **figura 13** para Drake (2005) “Los reguladores de tensión son circuitos capaces de proporcionar tensión e intensidad muy estable a cargas más bajas. Habitualmente están basados en elementos de referencia de tensión que proporcionan la precisión y estabilidad” (p. 3)

Con el pasar de los años y ajustándose a las nuevas necesidades de la sociedad de elementos más compactos se crearon los módulos DC-DC LM2596 que soportan entradas de voltaje de 4,5 VDC hasta 40 VDC proporcionando una salida de entre 1,5 V hasta 35 V ajustable según sus requerimientos, en la siguiente podemos observar un módulo regulador de voltaje (Texasinstruments, 2023).

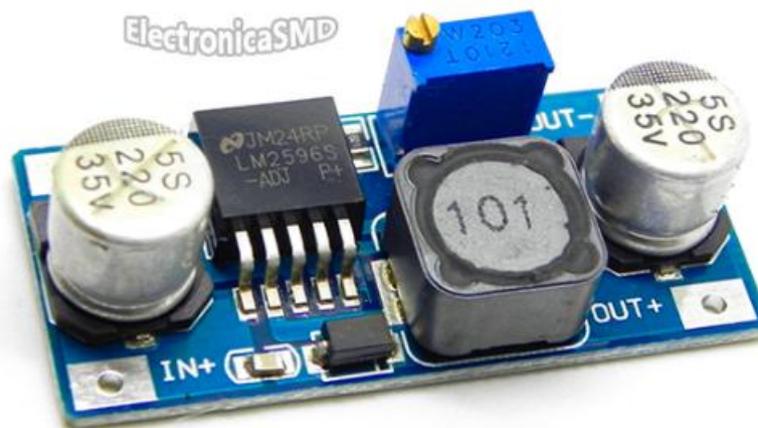


Figura 13. Módulo regulador de voltaje LM2596

Fuente: (ElectronicaSMD, 2005)

4.3 Capítulo III: Dispositivos de medición y control

4.3.1 Dispositivos electrónicos para medición de nivel de iluminación

4.3.1.1 Luxómetro.

El luxómetro es un equipo que sirve para la medición de luz en un determinado rango de trabajo. Estos equipos son fáciles de manejar, el cual puede ser usado por personas no instruidas, pero se debe tener una noción de como fijar la distancia y el ángulo óptimo del equipo para obtener los mejores resultados (PCE, 2015).

4.3.1.2 CRUNCHY Byte box.

Es una aplicación móvil que se destaca su método de calibración, cuyo cálculo es automático a partir del ingreso de la iluminancia registrada por el sensor del dispositivo móvil y la iluminancia medida por el sensor patrón. Esta aplicación posee un error de ± 19 lux según el artículo de medición de niveles de iluminación mediante teléfonos inteligentes (Rodríguez, 2019).

4.3.1.3 Smart Luxmeter.

Es una aplicación móvil que mide la luminosidad ambiental con el sensor de luz que incorpora los teléfonos inteligentes. Tiene una interfaz amigable con el usuario. Para realizar una medición únicamente se debe apuntar el sensor de luz del teléfono móvil hacia el origen de la luz ambiental o artificial.

4.3.2 *Dispositivos de medición de consumo energético*

4.3.2.1 Pinza Amperimétrica.

Una pinza amperimétrica es un comprobador eléctrico que combina un voltímetro con un medidor de corriente tipo pinza. Su funcionamiento se basa en un cable con corriente de CA dentro de la pinza o alrededor de la sonda flexible, la corriente reacciona con las pinzas de un modo similar al núcleo de hierro de un transformador, y pasa a través de un bobinado secundario hasta el extremo de la entrada del medidor (Fluke, 2016).

4.3.2.2 Medidor inteligente.

Como se detalla en la **figura 14**, los medidores inteligentes o la infraestructura de Medición Avanzada o conocida por sus siglas en inglés AMI, estos forman parte de las Smart Grids o también conocidas Redes Eléctricas Inteligentes (REI). Un medidor cumple la misma función que los medidores tradicionales con la característica de tener un sistema bidireccional, es decir, que, así como entregan los datos también puedes recibir por el mismo sistema, permiten una conexión remota de Usuario-Datos-Empresa Distribuidora (Valdiosera, 2013).

Un medidor inteligente que podemos encontrar en el mercado es el de la marca eMylo, tiene funciones que le permite encender y apagar su equipo de forma remota en cualquier momento y en cualquier lugar usando su teléfono inteligente o tableta. También es compatible con Alexa y Google Home, lo que le permite controlar su dispositivo con comandos de voz. (eMylo, 2021).



Figura 14. Medidor inteligente eMylo.

Fuente: (eMylo, 2021)

Además, posee una sencilla instalación del equipo, que permite controlar el consumo eléctrico, ofreciéndonos graficas de consumo diario de energía, consumo mensual de energía y consumo anual de energía. Para realizar el emparejamiento del dispositivo consta solo de descargar una aplicación ya sea mediante código QR o de las plataformas de distribución digital de aplicaciones móviles y el enlace celular-dispositivo se realiza de manera automática. Tal como se presenta en la **figura 15**.

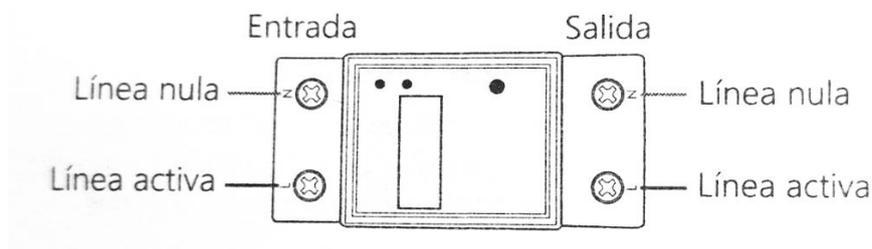


Figura 15. Diagrama de cableado.

Fuente: (eMylo, 2021)

4.3.3 Dispositivos de control o automatización

4.3.3.1 Arduino Uno.

Moreno & Córcoles (2017) plantean que “Arduino es una plataforma de código abierto de prototipos electrónicos que se basa en hardware y software flexibles y fáciles de usar” (p. 19). En cuanto al hardware, se utilizan placas que pueden ser ensambladas manualmente o adquirirse preensambladas. Cada placa incluye un microcontrolador en el cual se carga el programa de software necesario para hacer funcionar la placa de manera adecuada. Tal como se presenta en la **figura 16**.

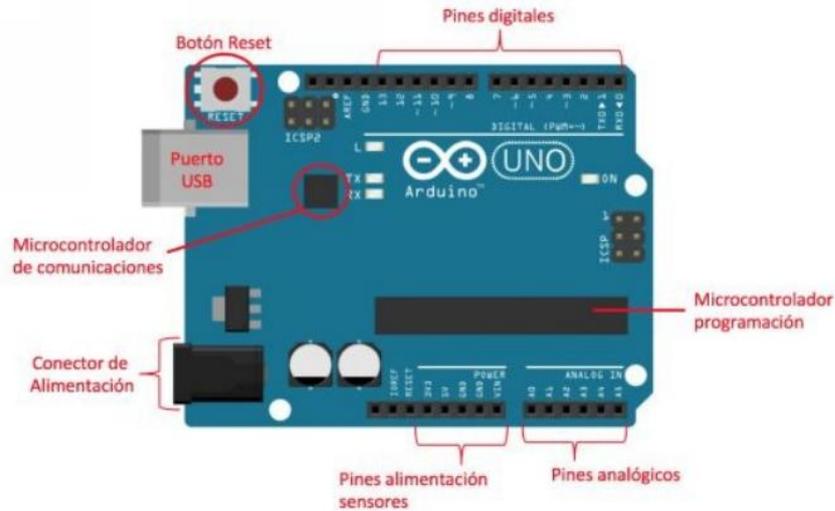


Figura 16. Placa Arduino Uno R3

Fuente: (Moreno & Córcoles, 2017)

4.3.3.1 Componentes placa de Arduino.

A continuación, mostraremos cada una de las partes de un Arduino y su funcionamiento teniendo en cuenta lo dicho por Moreno & Córcoles (2017):

- Pines digitales

Los pines digitales son las conexiones digitales en la placa Arduino, la placa tiene un total de 14 pines digitales numerados del 0 al 13. Cada uno de estos pines se puede utilizar como entrada o salida. Las señales digitales tienen solo dos estados posibles: 0 (bajo, bajo, falso) y 1 (alto, alto, verdadero). Cuando ponemos el pin digital en ALTO, la placa da 5V a través de la salida correspondiente y si está en BAJO, la placa da 0V. Cabe señalar que los valores de 5V y 0V pueden diferir en situaciones específicas.

- Pines analógicos

Los pines analógicos de la placa Arduino son capaces de medir un rango de valores de tensión, mientras que los pines digitales detectan solo dos estados: 0 y 1, que corresponden respectivamente a 0 V y 5 V. A través del pin analógico podemos leer valores intermedios entre 0 V y 5 V. Estos valores se representan como enteros de 10 bits, lo que permite analizar hasta 1 023 valores diferentes. También podemos escribir valores a los pines analógicos, pero en este caso la representación se hace con números de 8 bits y los valores permitidos están entre 0 y 255. En las placas Arduino, algunos pines digitales tienen un símbolo "~" junto a ellos, lo que indica que también se pueden usar como pines analógicos en la placa.

- Pines alimentación sensores

Además de los pines de entrada y salida Arduino cuenta con pines específicos que permiten suministrar alimentación a componentes externos. Estos incluyen un pin de 5V y otro

de 3.3V, que garantizan una fuente de voltaje constante para los dispositivos conectados. Además, Arduino también dispone de pines de tierra (GND) que se utilizan para establecer una referencia común de voltaje. Estos pines de tierra ayudan a completar los circuitos y garantizan un camino de retorno para la corriente eléctrica.

- Microcontrolador de comunicaciones

El microcontrolador de comunicaciones es responsable de administrar las interacciones y las comunicaciones con todos los dispositivos y componentes conectados a la placa.

- Microcontrolador de programación

Este componente es esencial en la placa de Arduino, ya que actúa como el cerebro de la misma. Es responsable de almacenar y ejecutar el programa que se ha cargado en la placa. Para programar el microcontrolador, se utiliza el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, que es un software gratuito.

- Botón Reset

El botón Reset cumple la función de reiniciar el programa que se encuentra en ejecución en el microcontrolador. Al presionarlo, se interrumpe la ejecución actual, pero no se borra el programa cargado. Es útil para reiniciar el sistema en caso de ser necesario.

- Puerto USB

El puerto USB es el medio de comunicación principal entre la placa de Arduino y el ordenador. Cumple diversas funciones, como proporcionar alimentación a la placa, cargar programas

- Conector de alimentación

La placa de Arduino está equipada con un conector de alimentación externo que permite su funcionamiento sin depender de un ordenador. Sin embargo, es importante tener precaución al suministrar la alimentación, ya que exceder el voltaje máximo recomendado puede dañar la placa. Se recomienda alimentarla con un voltaje integrado entre 7V y 12V para un rendimiento óptimo.

4.3.3.2 Raspberry.

Como se muestra en la **figura 17**, estos dispositivos son miniordenadores totalmente operativos, ya que cuentan con su propia memoria, tarjeta gráfica y procesador. La placa tiene la capacidad de ejecutar el sistema operativo Linux, con una versión especialmente diseñada para ello, y se puede instalar fácilmente en la mayoría del software compatible con Linux. Esto permite la programación en diversos lenguajes, principalmente Python y C++. Una vez

instalado el sistema operativo, trabajar en esta placa es similar a trabajar en cualquier otro dispositivo Linux (Solectro, 2020).

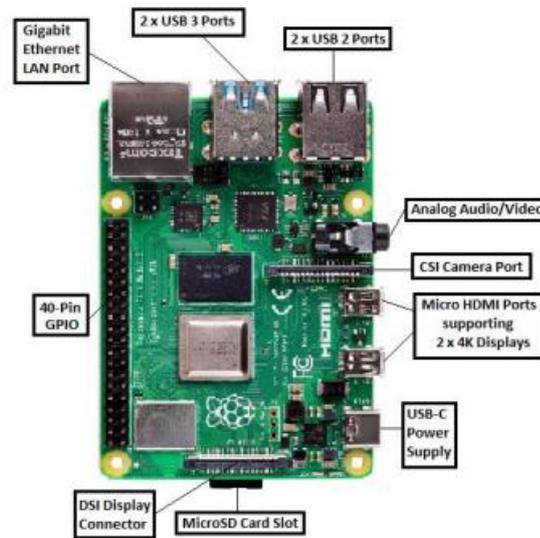


Figura 17. Raspberry pi y sus componentes.

Fuente: (Solectro, 2020)

4.3.3.3 PLC (Programmable Logic Controller).

Tomando lo dicho por el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control (DIEEC) (2011) podemos definir que un PLC es una computadora especializada que se emplea en la rama de la ingeniería automática o automatización industrial, con el propósito de mecanizar procesos electromecánicos. Estos procesos abarcan desde el manejo de maquinaria en líneas de ensamblaje de fábricas hasta el control de atracciones mecánicas.

A diferencia de las computadoras tradicionales, los controladores lógicos programables (PLC) ofrecen la capacidad de administrar múltiples señales de entrada y salida, excelente inmunidad a condiciones extremas como amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a vibraciones y golpes. Los programas utilizados para controlar las operaciones de la máquina generalmente se almacenan en baterías de respaldo o memoria no volátil, lo que garantiza la disponibilidad en caso de una falla de energía (DIEEC, 2011).

4.4 Capítulo IV: Análisis económico y energético

4.4.1 Precio de consumo eléctrico

En Ecuador actualmente existen diferentes tipos de categorías sobre las cuales se aplica cierta tarifa en función de los kWh que consuma, entre los cuales tenemos:

- Categoría General
- Categoría Residencial

De acuerdo con la resolución Nro. ARCERNNR-003/2021 para *Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica* “la categoría general comprende al servicio público de energía eléctrica que es destinado por el consumidor a actividades diferentes al uso doméstico (categoría residencial), básicamente comprende el comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados”, es decir, que los precios de acuerdo al consumo eléctrico que tenga la Universidad van a estar regidos de acuerdo a la **Tabla 7.** de cargos tarifarios únicos.

Tabla 7. Cargos tarifarios únicos para categoría general.

Categoría	General		
Nivel de voltaje	Bajo voltaje sin demanda		
1-300 Superior	Comercial	0,092	0,103
1-300 Superior	E. Oficiales, esc. Deportivos, servicio comunitario y abonados especiales	0,082	0,093
1-300 Superior	Bombeo agua	0,072	0,083
1-300 Superior	Bombeo agua servicio público de agua potable	0,058	0,066
1-300 Superior	Industria artesanal	0,073	0,089
1-300 Superior	Asistencia social, beneficio público y culto religioso	0,034	0,036
	0,038	0,063	

Fuente: (SPEE, 2021)

4.4.2 Proyección de ahorro energético en términos económicos

Para la evaluación del ahorro energético en términos económicos se debe hacer primero empleando un análisis en las unidades energéticas más empleadas en el estudio, como lo son: kilovatio-hora (kW-h), kilocaloría (kcal), tonelada equivalente de petróleo (Tep), etc. Luego del análisis de unidades debe plantearse, ¿cuál es la situación energética actual? Es decir, la situación antes de que se aplique la medida de ahorro. Luego naturalmente se compara el antes y después del ahorro en términos energéticos, para transportarlos a términos económicos basta con saber el coste unitario de la unidad elegida y se realiza el análisis (Cruz, 1996).

4.4.2.1 Valor actual neto (VAN).

Para Puga (2019) este método de evaluación considera el valor del dinero a lo largo del tiempo y representa la utilidad que obtiene el inversionista después de haber recuperado la inversión, logrando así la rentabilidad requerida. Además, mide los resultados obtenidos por el proyecto a través del valor presente del período en el cual se realiza la evaluación. Para saber el grado de rentabilidad que tendrá el proyecto debemos usar la siguiente **Ecuación 4**.

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{In - En}{(1 + i)^n} \quad (4)$$

Donde:

VAN= Valor Actual Neto

N= Número de periodos

In= Ingresos

En= Egresos

i= Tasa de interés

4.4.2.2 Tasa interna de retorno (TIR).

Este método determina la viabilidad de una inversión al comparar la Tasa Interna de Retorno (TIR) resulta con la tasa de descuento exigida por el inversor. Si la TIR es igual o mayor que la tasa de descuento, se considera aconsejable realizar la inversión. Además, entre varias alternativas, se elegirá la más conveniente si ofrece una TIR mayor. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, el inversionista es indiferente entre llevar a cabo la inversión o no. Por otro lado, si la TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto debe rechazarse (Puga, 2019).

4.4.2.3 Error relativo y porcentual.

El coeficiente es el resultado de dividir el error absoluto entre el valor exacto. Si se multiplica por 100, se obtiene el porcentaje de error. Similar al error absoluto, este coeficiente puede ser tanto positivo como negativo, dependiendo de si el error absoluto es de exceso o defecto. Cabe resaltar que el coeficiente de error carece de unidades de medida (Tomas, 2016).

$$Ep = \frac{|Vr - Ve|}{Vr} * 100 \quad (5)$$

Si bien la **Ecuación 5** no corresponde a un método económico es una gran herramienta para saber la dispersión que existe entre los valores que se obtienen en un análisis energético, analizando dos fuentes y dando como resultado un grado de tolerancia.

4.5 Capítulo V: Cálculo de iluminación artificial dentro de aulas

4.5.1 Método de los lúmenes

El método de los lúmenes o también llamado sistema general, es un procedimiento que nos permite calcular de forma sencilla la iluminación presente dentro de un área de trabajo, así como calcular la iluminación necesaria dentro de la misma, los valores obtenidos de este método poseen un error de $\pm 5\%$ que nos permite obtener valores bastantes cercanos a la realidad (Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor, 2011). Para emplear esta metodología debemos seguir los siguientes pasos:

4.5.1.1 Flujo luminoso total necesario.

Como primer paso debemos calcular el flujo total que debemos tener dentro de nuestra aula, para ello emplearemos la **Ecuación 1**, con esta fórmula obtendremos la cantidad de energía que deberá irradiar una superficie. Tomando lo dicho por Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor (2011) “es importante que antes, analices el tipo de aula que tienes, su forma y sus acabados” (p. 4) es por esto que necesitamos los siguientes datos de entrada:

- Dimensiones del espacio a analizar (largo, ancho, altura).
- Altura del plano de trabajo (h').
- Nivel de iluminación media.
- Tipo de lámpara.
- Tipo de luminaria.

4.5.1.2 Cálculo de número de luminarias.

Para el obtener la cantidad de luminarias primero debemos partir de la **Ecuación 6**, que dice que el número de luminarias total dentro del espacio a estudiar va a ser igual al flujo luminoso total obtenido para el número de lámparas por el flujo luminoso que puede ofrecer cada una (Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor, 2011).

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (6)$$

4.5.1.3 Emplazamiento de luminarias.

Teniendo el número de luminarias que serán usadas dentro de un sistema de iluminación, debemos ubicarlas de manera que la iluminación llegue a cada espacio de la superficie, tomando en cuenta lo dicho por Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor (2011) “si quieres una iluminación uniforme las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local” (p. 8), para satisfacer esto debemos aplicar las siguientes **Ecuación 7** y **Ecuación 8**.

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_T}{b} * a} \quad (7)$$

Donde:

N_{ancho} : Número de luminarias ubicadas a lo ancho de la superficie.

N_T : Número total de luminarias dentro del espacio a iluminar.

b : largo del aula (en m).

a : ancho del aula (en m).

$$N_{largo} = N_{ancho} * \frac{b}{a} \quad (8)$$

N_{largo} : Número de luminarias ubicadas a lo largo de la superficie.

Tomando la recomendación dada por Castilla, Blanca, Martínez, & Pastor (2011) “Es importante que no olvides que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia a la que coloques el resto)” (p. 9). Por lo que, un buen ejemplo de emplazamiento de luminarias quedaría de acuerdo a la **Figura 18**.

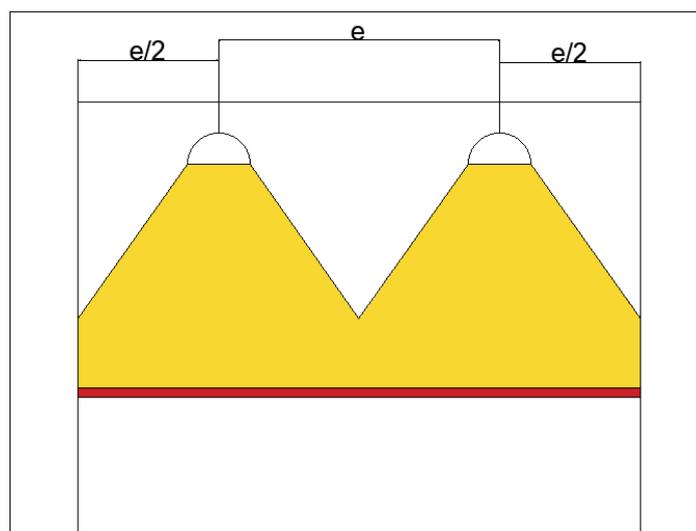


Figura 18. Emplazamiento de luminarias.

Como regla debemos comprobar que se cumpla la siguiente norma de separación de luminarias:

$$e \leq 1,6 h$$

Esto para alturas de aulas menores a cuatro metros, en caso de encontrar que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima permitida, esto quiere decir que la iluminación dentro del aula no será uniforme, por lo que será necesario realizar un recalcu con valores de potencia de luminaria más bajos o con una mayor o menor cantidad de luminarias (Castilla, Blanca, Martinez, & Pastor, 2011).

4.5.1.4 Comprobación de que el sistema instalado cumpla con los requisitos.

Al evaluar la siguiente **Ecuación 9** lograremos obtener el flujo luminoso que obtendremos al implementar las luminarias que fueron seleccionadas, donde debemos obtener un valor mayor o igual al flujo luminoso inicialmente seleccionado, esto para que nuestro sistema pueda ser implementado (Castilla, Blanca, Martinez, & Pastor, 2011).

$$E_m = \frac{NL * n * \Phi_L * Cu * Cm}{S} \quad (9)$$

4.5.2 Método del punto por punto

También denominado método de luminancias puntuales, este método se utiliza si lo que deseas es conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos. Este método si bien posee un bajo índice de error serviría más para áreas de trabajo puntuales, para lugares más amplios este método se puede volver un poco tedioso, debido a que se debería iterar para cada espacio (Blanca, Castilla, Crtez, Martinez, & Pastor, 2009).

4.5.3 Software de ayuda Dialux

Según el portal web de la Universidad Complutense de Madrid (2014) Dialux es un programa diseñado para la creación de proyectos de iluminación el que permite documentar los resultados obtenidos por medio de visualizaciones fotorrealistas. Toma como base los datos CAD de otros programas arquitectónicos. Por lo que es muy sencillo su uso, ya que como variable de entrada necesitaríamos inicialmente los planos del área a iluminar. Para comenzar un nuevo proyecto, es necesario tener en cuenta las características físicas del edificio o vivienda que se va a diseñar, como escaleras, vigas, columnas, etc. Al finalizar el diseño con todas estas características, se procede a diseñar el sistema de iluminación. También se puede realizar un nuevo proyecto utilizando el asistente de DIALux, lo cual es más sencillo, ya que solo se requiere especificar las características geométricas del espacio de acuerdo a la **figura 19**.

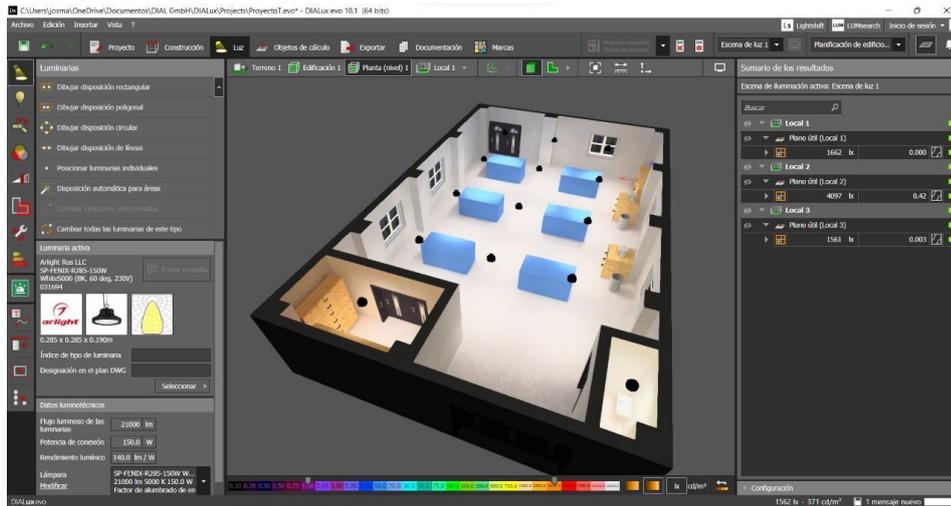


Figura 19. Interfaz de Dialux.

4.6 Capítulo VI: Domótica

Para los autores Dominguez & Sáez (2006) la domotica la podemos definir como “introducir infotecnología en los hogares para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y ampliar sus posibilidades de comunicación, automatizando procesos domésticos” (p. 10), en pocas palabras la domotica se encarga de facilitar procesos dentro del hogar o dentro de un ambiente para mejorar la comodidad de las personas.

Para Herrera (2005) la domotica abarca diversas disciplinas y se centra en combinar las tecnologías de telecomunicaciones, electrónica, informática y electricidad dentro del hogar. Su objetivo principal es elevar la calidad de vida de las personas al integrar de manera simultánea estos diferentes campos tecnológicos. La incorporación de una casa domótica o inteligente ofrece una amplia gama de ventajas y beneficios que son inalcanzables en comparación con una vivienda convencional. Estas ventajas abarcan aspectos importantes como la seguridad, la comodidad, la eficiencia energetica y la proteccion del medio ambiente.

En el contexto de las viviendas inteligentes, también llamadas "Casas Internet", se pueden identificar dos tipos fundamentales de arquitecturas que determinan la ubicación de los dispositivos en el hogar inteligente (Herrera, 2005). Estos tipos de arquitectura son los siguientes.

4.6.1 Arquitectura centralizada

Este tipo de arquitectura es una topología conectada en estrella como podemos apreciar en la **Figura 20**. Por tanto, los sistemas domóticos disponen de un elemento de control central encargado de gestionar todas las señales de control de los distintos dispositivos y al que están conectados todos los dispositivos. Por lo tanto, si este elemento central falla o simplemente

deja de funcionar, todo el sistema de control colapsa por completo. Generalmente, en este tipo de arquitectura, el elemento central no tiene elementos centrales redundantes (Herrera, 2005).



Figura 20. Topología de red estrella.

Fuente: (Caiza, 2009)

Para la autora Caiza (2009) “La ventaja principal es que permite que todos los nodos se comuniquen entre sí de manera conveniente. La desventaja principal es que si el nodo central falla, toda la red se desconecta” (p. 22).

4.6.2 Arquitectura distribuida

Como se puede apreciar en la **figura 21**, esta arquitectura dota a un sistema doméstico de una gran flexibilidad, ya que el sistema de control está cerca de los elementos a controlar, y aunque un dispositivo esté fuera de control, no significa que los demás del sistema también lo estén. Los factores más importantes en el uso de este tipo de arquitectura son el medio de transmisión, la velocidad de comunicación y el tipo de protocolo. Por tanto, estas características deben ser consideradas a la hora de implementar este tipo de arquitectura.

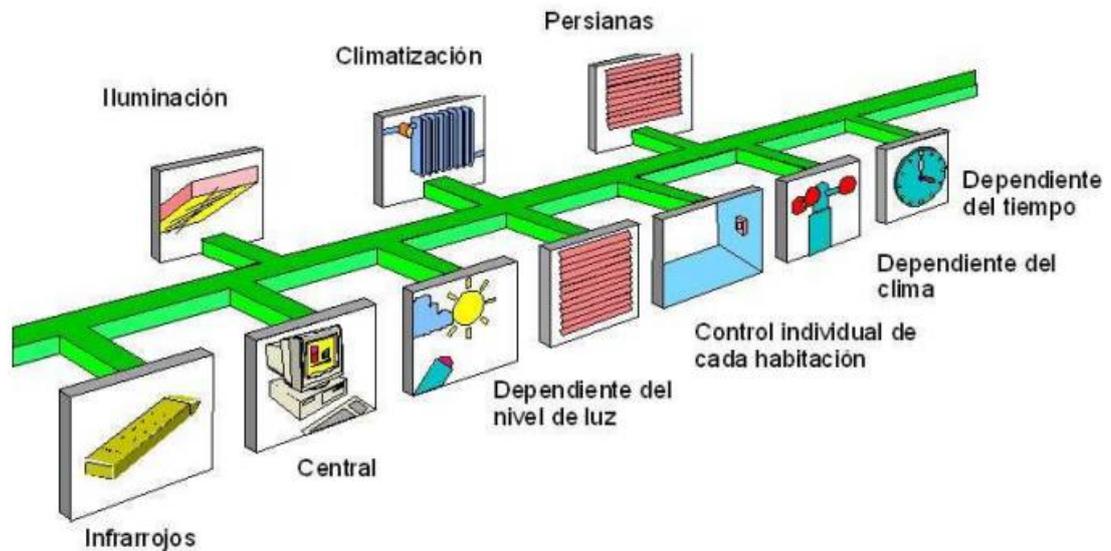


Figura 21. Sistema de domótica distribuida.

Fuente: (Gonzales, 2006)

4.6.3 Control automático de iluminación

Si bien este sistema de control automático de iluminación es una tecnología nueva que está aún dando sus primeros pasos, existe un sistema de control de iluminación que tiene un alto grado de eficiencia, el ingeniero Ruales (2019) en su trabajo previo a la obtención del título de ingeniero en electrónica y control “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN PARA EL SALÓN 216B DEL EDIFICIO DE AULAS Y RELACIÓN CON EL MEDIO EXTERNO (EARME) DE LA EPN” obtiene un ahorro al implementar este sistema de 55,06% de ahorro energético donde presenta la **Tabla 8** de comparación entre las luminarias anteriormente instaladas y las luminarias LED con el sistema de control implementado.

Tabla 8. Comparativa entre sistemas de salón 216B de la EPN.

Parámetro	Sistema inicial		Sistema eficiente	
# Luminarias	12 luminarias de 3 tubos fluorescentes	5 dicroicos halógenos	12 paneles LED	5 dicroicos LED
Potencia Luminaria (W/luminarias)	96 W/Luminaria	50 W/Luminaria	50 W/Luminaria	6 W/Luminaria
Carga instalada (kW)	1,152 kW	0,25 kW	0,6 kW	0,03 kW

Parámetro	Sistema inicial		Sistema eficiente	
# Luminarias	12 luminarias de 3 tubos fluorescentes	5 diroicos halógenos	12 paneles LED	5 diroicos LED
Ahorro (kW)	-	-	0,552 kW	0,22 kW
Contaminación por mg de mercurio		4,5		0
Carga instalada total kW		1,402 kW		0,63kW
Porcentaje de ahorro				55,06%

Fuente: (Ruales, 2019)

Como se puede apreciar en la **figura 22** y **figura 23**, con el sistema implementado obtuvo las siguientes graficas de ahorro en función de cada hora del día, donde podemos evidenciar la importancia de la implementación de este tipo de sistemas de control en aulas.

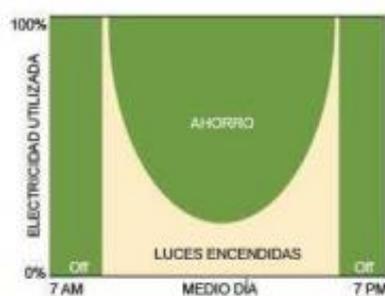


Figura 22. Ahorro producido por ajuste de atenuación de las luminarias

Fuente: (Ruales, 2019)

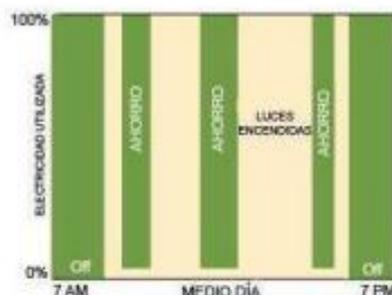


Figura 23. Ahorro producido por Sensores de Ocupación

Fuente: (Ruales, 2019)

Esto lo logró apoyándose con la iluminación natural y brindando la iluminación artificial adecuada en los momentos que sea necesario, usando un sensor de luminosidad que mide la cantidad de luxes dentro de un área de trabajo. Realizando un estudio mensual del consumo energético dentro del aula es mucho más evidente la importancia de este tipo de sistemas donde posee un consumo de 370,12 KW /h con el sistema inicial o sistema antiguo, y aplicando la domótica tenemos un consumo de 134,64 KWh, apreciando que el consumo es menos de la mitad y teniendo valores de luxes por área de entre 7 y 14% mejores que el sistema inicial. Un inconveniente de los sistemas de control de iluminación son los altos costos de los equipos y la poca oferta presente en el mercado.

4.6.4 Interfaz de iluminación con direccionamiento digital (DALI)

Según Portocarrero (2017), el protocolo DALI es un estándar de interfaz para equipos de control electrónico regulables que no está sujeto a un régimen privado. Este protocolo ofrece una mayor funcionalidad y facilidad de uso. Una ventaja destacada de este sistema es su alta fiabilidad, ya que el cableado no es sensible a las radiaciones electromagnéticas, a diferencia de otros sistemas de control que requieren el uso de cables apantallados. En la actualidad, existen únicamente dos modos de realizar el control mediante el protocolo de comunicación para sistemas de iluminación DALI. Tomando lo dicho por Portocarrero (2017) tenemos los siguientes tipos de sistemas de control DALI:

4.6.4.1 Control DALI BROADCAST

Tal como se presenta en la **figura 24**, con este sistema de control, todos los balastos, transformadores o drivers conectados responden de manera conjunta. No es posible llevar a cabo ningún control o informe individual. Sin embargo, los circuitos DALI Broadcast pueden migrar a DALI Universo, para lo cual solo se requieren controladores DALI Universo.

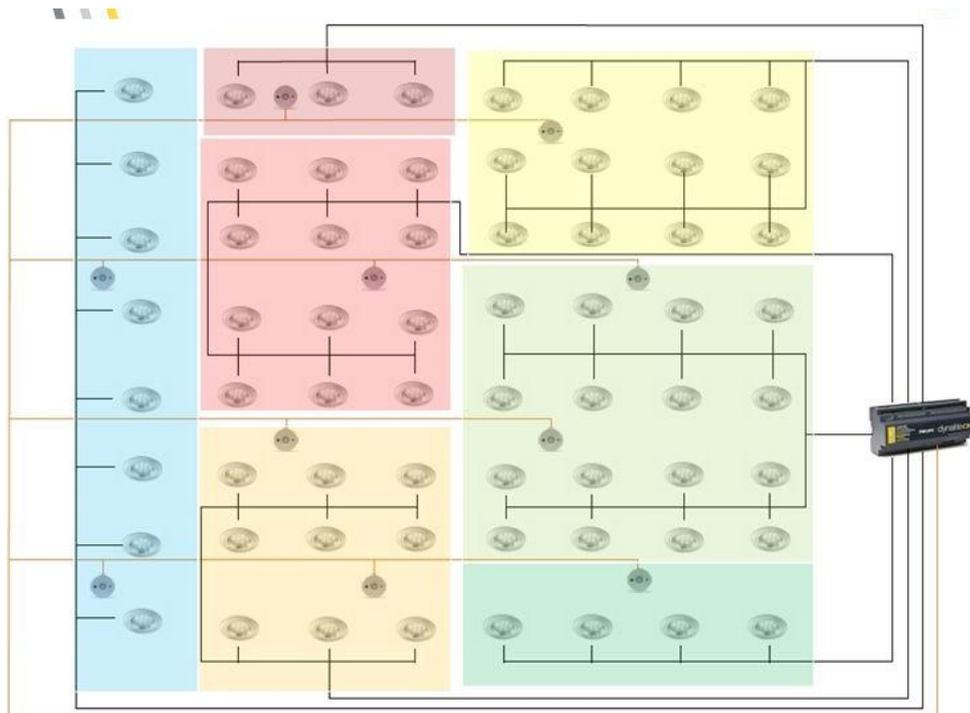


Figura 24. Configuración de sistema DALI con control BROADCAST.

Fuente: (Portocarrero, 2017)

4.6.4.2 Control DALI UNIVERSO

De acuerdo con la **figura 25**, este sistema de control permite la individualización y direccionamiento de cada balasto, transformador o controlador, lo que facilita la generación de informes. El controlador obtiene la información de cada componente mediante una señal digital enviada desde el controlador. Si bien los controladores DALI Universo pueden ser utilizados en el modo DALI Broadcast para un control general del ambiente, no es recomendable emplear un controlador DALI Universo para este propósito. Es más adecuado utilizarlos para un control específico e individualizado de cada elemento.



Figura 25. Configuración de sistema DALI con control UNIVERSO.

Fuente: (Portocarrero, 2017)

4.6.4.3 Análisis económico de sistemas DALI

Al implementar el protocolo DALI en una planta de operaciones, el dispositivo cumple con los estándares de seguridad actuales y se ajusta a las regulaciones vigentes. Al implementar el sistema de control individual de las luminarias mediante el protocolo de comunicaciones para iluminación DALI, es posible ajustar la intensidad del flujo lumínico y gestionar el encendido y apagado de manera sencilla, solo requiriendo la conexión en paralelo de dos cables a través de las luminarias.

La instalación del sistema de iluminación LED con control DALI tendrá un costo total de S/ 237 447,61. El período de retorno de la inversión está estimado en 6 años y 3 meses. Además, este sistema generará un ahorro acumulado de S/ 667 719,59 hasta que los artefactos de iluminación comiencen a perder flujo lumínico, lo cual se proyecta en aproximadamente 20 años, basándonos en el tiempo promedio de vida de estos dispositivos.

La siguiente **Tabla 9** representa el período de retorno de inversión, sin tener en cuenta los gastos de mantenimiento ni el tiempo de vida útil de los artefactos de iluminación:

Tabla 9. Análisis económico de implementación de protocolo DALI.

Cuadro comparativo sin considerar gastos de mantenimiento del sistema				
Costo Mensual Actual	Costo Mensual Nuevo	Ahorro Mensual	Inversión	Tiempo de retorno de inversión (Años)
5 420,25	3 025	2 395,25	237 447,61	8,3

Fuente: (Portocarrero, 2017)

Esta inversión en el sistema de iluminación LED con control DALI demuestra ser económicamente viable y sostenible a largo plazo, proporcionando beneficios significativos en términos de eficiencia energética y ahorro financiero.

5. Metodología

5.1 Área de trabajo

El objeto de estudio se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Loja (UNL), en la ciudadela “La Argelia” en la provincia de Loja y cantón Loja, al sur de la ciudad en las siguientes coordenadas: Latitud $4^{\circ}01'48,86''S$ y longitud $79^{\circ}11'57,66''W$. El bloque A3 se encuentra ubicado dentro de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR. En la **Figura 26** se muestra una vista superior del bloque A3 obtenida de la herramienta de datos geoespaciales Google Earth Pro.



Figura 26. Vista superior del bloque A3 de la FEIRNNR.

Fuente: Google Earth Pro.

5.2 Equipos y materiales

Al momento de la resolución se utilizó los diferente materiales y equipos para la implementación del sistema automático para control de iluminación artificial.

5.2.1 Equipos

Recursos tecnológicos

- Softwares
 - ✓ AutoCAD
 - ✓ Excel
 - ✓ Word
 - ✓ Dialux
- Equipos técnicos
 - ✓ Computadora Lenovo Yoga I5
 - ✓ Taladro

- ✓ Martillo
- ✓ Pinzas
- ✓ Cinta adhesiva
- ✓ Celular con sensor de luz
- ✓ Multímetro

Recursos bibliográficos

- ✓ Artículos y libros sobre el control de atenuación de iluminación artificial.
- ✓ Tesis de grado enfocadas al campo de la automatización de sistemas de iluminación.
- ✓ Documentos de sitios web donde hayan aplicado sistemas inteligentes en el control de luminarias.

5.2.2 *Materiales*

Los materiales usados para la implementación de un control automático de nivel de iluminación de luminarias pueden variar en función de lo disponible en el mercado y unos materiales aquí presentes fueron importados de otro país.

- Multisensor 0-10V (Importado)
- Adaptador AC/AC 120/24 V
- Arduino Uno
- Regulador de voltaje
- Panel LED dimerizable (Importado)
- Driver de control LED de 0-10 V (Importado)
- Medidor inteligente (Importado)
- Caja de paso termoplástica

5.3 **Procedimiento**

El método de estudio del presente trabajo fue hipotético-deductivo porque se planteó como hipótesis mediante el análisis y el rediseño de las instalaciones, donde se logró obtener un sistema de control de luminarias eficiente, que genera ahorro energético y económico dentro de las aulas.

El trabajo de titulación realizado requirió la obtención de datos e identificación de variables concretas, por lo que el enfoque de la investigación fue cuantitativo porque se parte de una hipótesis y se siguió un patrón secuencial para la obtención de resultados, donde no se pueden saltar pasos. La medición se realizó mediante instrumentos ya estandarizados, donde

se obtuvieron datos de naturaleza numérica, los cuales se analizaron mediante métodos estadísticos y se obtuvo diversas conclusiones, que se encuentran presentadas en forma de matrices.

El tipo de investigación que mejor se adaptó para la obtención de datos relevantes son: exploratorio – correlacional. Esto debido a que los sistemas de control automático de la iluminación (SCAI) es un tema poco estudiado donde se realizó un análisis comparativo entre sistema convencionales y el nuevo equipo implementado.

5.3.1 Nivel de iluminación dentro del Aula A312

Para el cumplimiento del primer objetivo: “Calcular el nivel de iluminación adecuado en el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR” se siguieron los pasos descritos a continuación:

5.3.1.1 Selección del método de cálculo.

Primero se seleccionó un método para encontrar el nivel de iluminación adecuado dentro del aula. Actualmente existen diversos métodos, como lo son, método de los lúmenes, método punto por punto, mediante software, entre los cuales se decidió usar el método de los lúmenes y contrastar sus resultados con el software Dialux.

5.3.1.2 Método de los lúmenes.

Se llevaron a cabo los siguientes pasos para utilizar el método de los lúmenes:

5.3.1.2.1 Datos de entrada del área.

La toma de las dimensiones de un aula es un aspecto crucial en la planificación de espacios educativos, especialmente cuando se considera la importancia de la iluminación. Al obtener cuidadosamente las dimensiones del aula se pudo tomar decisiones estratégicas para aprovechar al máximo la luz natural y artificial disponible.

5.3.1.2.2 Definición de plano de trabajo.

La altura desde el suelo a la superficie de la mesa de trabajo, generalmente establecida en 0,85 metros, no solo tiene en cuenta la ergonomía y comodidad de los estudiantes, sino que, también se relaciona directamente con una correcta iluminación en el aula.

Se colocaron las mesas a esta altura específica, donde se buscó evitar obstrucciones en la trayectoria de la luz procedente de las ventanas o de la iluminación artificial del aula.

5.3.1.2.3 Nivel de iluminación dentro del aula.

Se eligió un nivel de iluminación de 300 lux considerando la norma UNE 12464.1. Siguiendo este estándar, se asegura que el ambiente de iluminación cumple con los estándares establecidos y brinda las condiciones visuales suficientes para las tareas y actividades que se realizan en ese espacio.

5.3.1.2.4 Lámpara y luminaria.

Para obtener la iluminación artificial se colocaron paneles led dimerizables de 45W de 110 lm/W, esto se realizó debido a su gran superioridad ante sus competidores y porque posee características propias de un LED que son imprescindibles para el equipo SCAI, regulación de color y luminosidad.

5.3.1.2.5 Altura que se colocaron las luminarias.

Como el aula posee una viga que la atraviesa horizontalmente, se decidió colocar las luminarias suspendidas, mediante un soporte colgante al límite inferior de la viga para evitar sombras y que el flujo luminoso no se vea afectado, si bien, se colocó las luminarias a una menor altura, la cantidad de flujo luminoso no se vio afectado por esto debido a que el panel led posee una película transmisora de luz (LGP) que lo distribuye correctamente por todo el ambiente.

5.3.1.2.6 Coeficiente de utilización.

Para obtener el coeficiente de utilización, en primer lugar, se debe definir el tipo de sistema de iluminación que se desea obtener antes de instalar las nuevas luminarias, en el caso del tipo de aula y la disposición de luminarias en el mercado, se optó por un sistema de iluminación directa, su ecuación se puede observar en la **Tabla 1**, donde se reemplazaron los datos y se obtuvo el índice k del aula.

Una vez definido el índice k se pasó a realizar un análisis tanto visual como investigativo para poder designar los coeficientes de reflexión correspondientes a techo, pared y suelo. Esto se hizo tomando los valores de la **Tabla 2** y se colocaron los valores en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Valores obtenidos de coeficientes estándar.

Coeficiente de reflexión	
Superficie	Valor de coeficiente
Techo	0,70-0,85
Paredes	0,50-0,75
Suelo	0,40-0,50

Una vez establecidos los valores se procede a corregir y encontrar el valor del coeficiente de utilización, la tabla para la corrección suele estar dada por el fabricante, pero se decidió usar la **Tabla 11** que corresponde a una tabla estándar para luminarias.

Tabla 11. Valores para corrección de coeficiente de utilización para luminarias estándar.

Tabla de corrección					
Techo	0,70	0,70	0,70	0,50	0
Pared	0,70	0,50	0,20	0,20	0
Suelo	0,50	0,20	0,20	0,10	0
k (0,6)	77	58	49	48	45
k (1,0)	100	77	69	67	63
k (1,5)	116	91	84	80	77
k (2,5)	129	100	95	90	86
k (3,0)	133	103	99	93	89

El valor que corresponde al coeficiente de utilización ya corregido, se debe sumar a cada uno de los valores que se intersecan y dividirlos para la cantidad de números, en este caso.

5.3.1.2.7 *Coefficiente de mantenimiento.*

Tomando en cuenta lo dicho por Espinosa (2016), se utilizó un coeficiente de mantenimiento de 0,8 debido a que corresponde a un establecimiento que permanece limpio y ordenado.

5.3.1.2.8 *Flujo luminoso.*

Con todos los datos que se obtuvieron, se podrá calcular la cantidad de lúmenes que se necesita para mantener un nivel de iluminación adecuado dado por la norma UNE 12464.1 de 300 lx. Esto se realizó con el uso de la **Ecuación 1** descrita en el marco teórico.

A continuación, se presentará el diagrama de flujo que indica los pasos a seguir para lograr el primer objetivo.

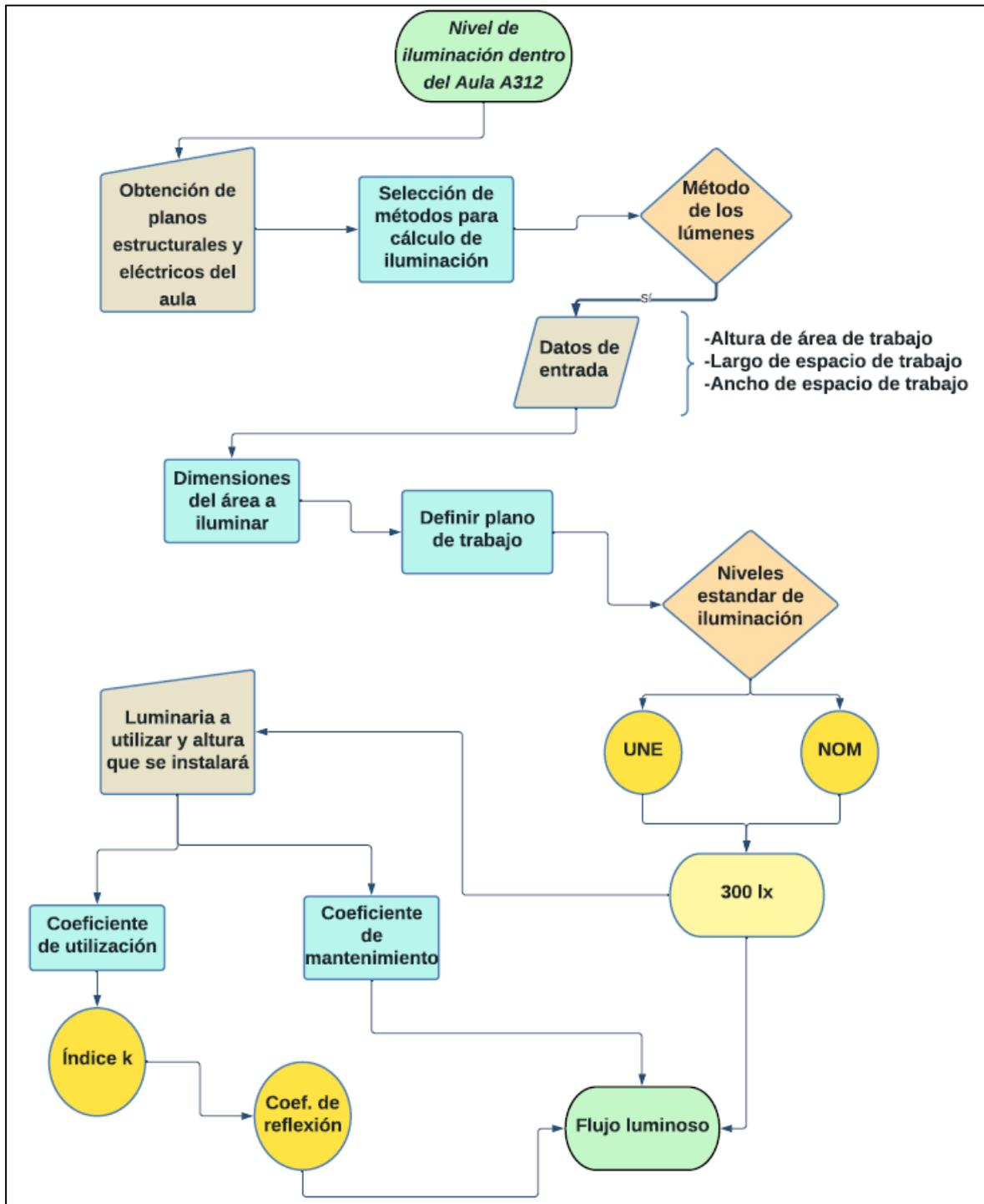


Figura 27. Flujograma para cumplir el primer objetivo.

5.3.2 *Diseño de sistema de control automático de iluminación*

Se siguió el siguiente procedimiento para el cumplimiento del objetivo “Diseñar el sistema de control eléctrico, determinar los componentes para el prototipo de control analógico e implementarlo en el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja” eléctricos

5.3.2.1 Lluvia de ideas para construcción de SCAI.

La arquitectura del sistema se realizó considerando que elementos son necesarios para su construcción y que equipos se tenían disponibles en el mercado, por ello, se realizó una lluvia de ideas, esto con el objetivo de tener presente diferentes equipos que ayuden en la configuración del sistema.

5.3.2.2 Equipos del sistema.

Se analizó cada uno de los puntos vistos en el marco teórico donde se encontraron diferentes equipos que servirán en la construcción del sistema de control automático, para implementar el sistema de control primero se realizó un análisis de equipos a usar en el sistema.

5.3.2.3 Diagrama de instalación.

Se analizó cada una de las entradas y salidas, el voltaje de trabajo de cada uno de los equipos y si los mismos funcionan con corriente alterna o corriente continua, todo para asegurar la compatibilidad entre elementos y que el sistema funcione correctamente.

Primero se realizó un esquema de instalación del sistema, para comprobar la disposición y cuál es la mejor configuración para instalar el equipo de control de iluminación artificial, para ello se usó AutoCAD, donde se desarrolló cada una de las simbologías que representaran los equipos.

5.3.2.4 Algoritmo para control de iluminación.

Se analizó la placa de programación seleccionada para realizar el control y se realizaron líneas de código que permitieron cumplir con las siguientes condiciones:

- Cuando el voltaje de entrada analógica sea mayor a 3 voltios (el cual corresponde a un nivel de iluminación de 300 lx), la salida de voltaje que deberá entregar Arduino debe ser de 0 voltios, esto debido a que con la iluminación natural disponible en el área de trabajo cumple con la norma establecida.
- Cuando el voltaje de entrada analógico sea menor a 3 voltios, la salida de voltaje se ajustará automáticamente dependiendo del voltaje medido (voltaje de entrada).
- Codificar un sistema de botoneras que permita: Accionar las condiciones anteriormente mencionadas, otro botón que regule el voltaje de salida a 1 voltio (100 luxes) para los paneles LED posteriores y de 0 voltios para el panel frontal (el más cercano al pizarrón) sin importar el voltaje de entrada (este servirá cuando se necesite proyectar).

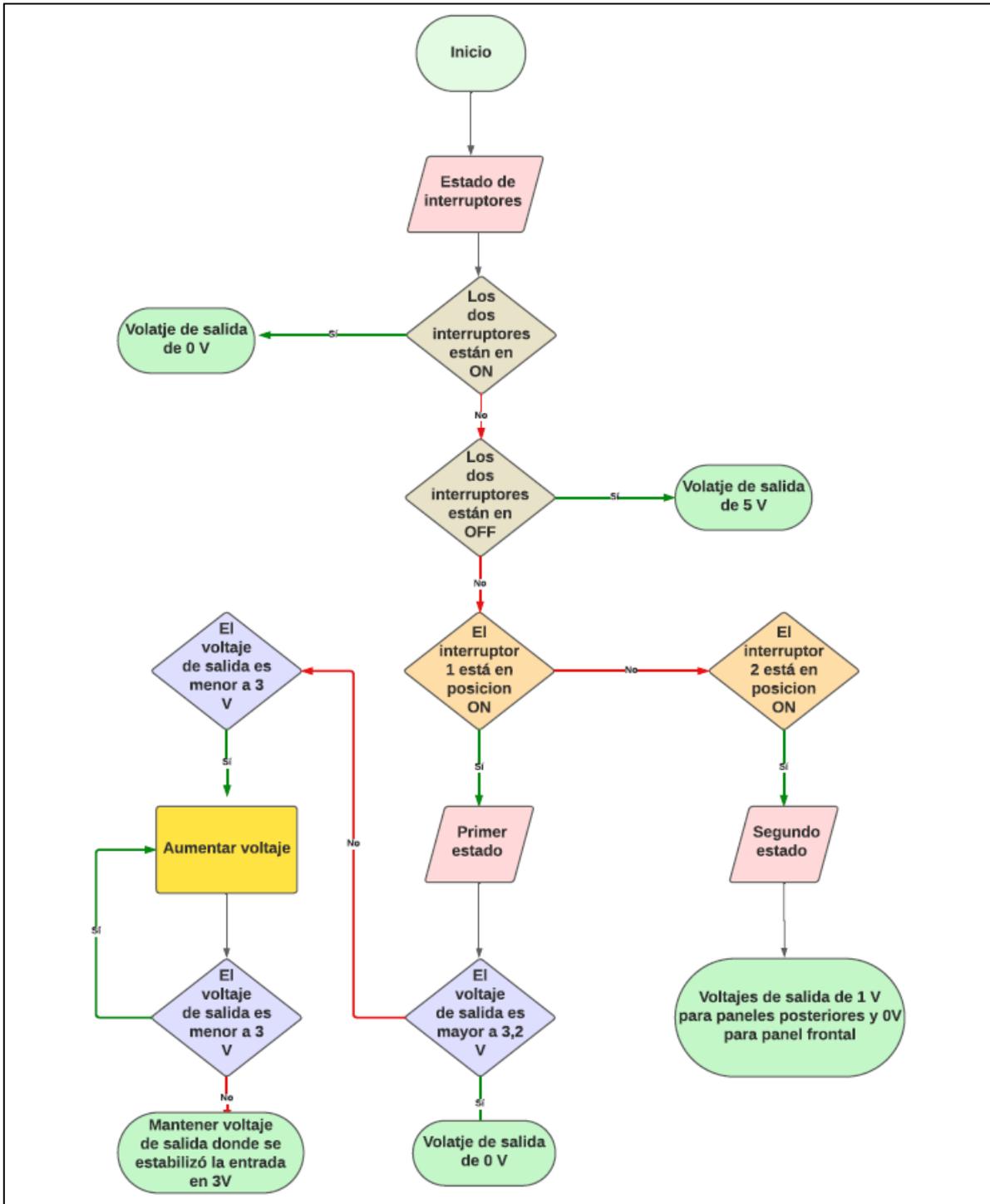


Figura 28. Flujograma para cumplimiento de sistema de control de luminarias LED dimerizables.

5.3.2.5 Construcción de sistema de control automático de iluminación (SCAI).

Para la construcción del prototipo, se realizó pruebas experimentales para encontrar la opción más factible para que el sistema cuente con un diseño hermético y resistente, sin perder la noción de la estética del mismo. Esto se lo realizó de esta manera debido a falta de normativas que apoyen a la construcción del sistema.

5.3.2.6 Emplazamiento de luminarias y SCAI.

5.3.2.6.1 Cálculo de número de luminarias.

Para el siguiente paso se partió de la **Ecuación 4**, que ayudó con la obtención del número de luminarias que debemos tener para poder cumplir con el flujo luminoso que resultó en el cálculo del primer objetivo.

5.3.2.6.2 Emplazamiento de luminarias.

Una vez obtenido el total de luminarias que tendrá nuestro sistema debemos calcular el número de luminarias por ancho y por largo que tendrá nuestra aula, para ello se empleó la **Ecuación 5** y **Ecuación 6**, luego de esto se procedió a realizar un diagrama del emplazamiento de las luminarias. Cabe tener en cuenta que luego de que se calculó la disposición se comprobó con la norma de separación de luminarias si cumplen con los requerimientos.

5.3.2.6.3 Comprobación de que el sistema instalado cumpla con los requisitos.

Por último, se usó la **Ecuación 7** para comprobar que el sistema cumple con la normativa de iluminación dentro de las aulas, donde se obtuvo un valor mayor al mínimo requerido para iluminar el espacio de trabajo.

5.3.2.6.4 Emplazamiento de sistema de control.

Este sistema es muy versátil, puede ubicarse en cualquier ubicación que se desee obtener el flujo luminoso mínimo, tomando en cuenta el rango de medición que posee el sensor de iluminancia.

5.3.3 Pruebas de funcionamiento y comparación de los sistemas antiguos con el SCAI

La realización de las pruebas de funcionamiento, el análisis de los sistemas, y por ende cumplir con el objetivo “Realizar pruebas de funcionamiento y comparar el sistema de control existente con el sistema de control automático implementado.” se consiguió aplicando el siguiente procedimiento.

5.3.3.1 Instalación de equipo de medición.

El análisis realizado tuvo que ser llevado a cabo mediante la instalación de un equipo que permita censar el consumo eléctrico en cada hora del día, se consideró tanto el sistema anteriormente instalado y el sistema de control automático de iluminación (SCAI). Para ello se usó un medidor inteligente que permite tanto controlar el paso de tensión hacia las luminarias, como ir registrando los datos de consumo eléctrico (kWh).

5.3.3.2 Recopilación de información.

Los datos recopilados se gestionaron mediante Excel para representar de manera gráfica el nivel de consumo que se tuvo en una semana normal de clases con cada uno de los sistemas

dentro del aula A312. El medidor cuenta con gráficas genéricas que permiten de manera general observar el nivel de consumo, como lo podemos ver en la **Figura 29**.

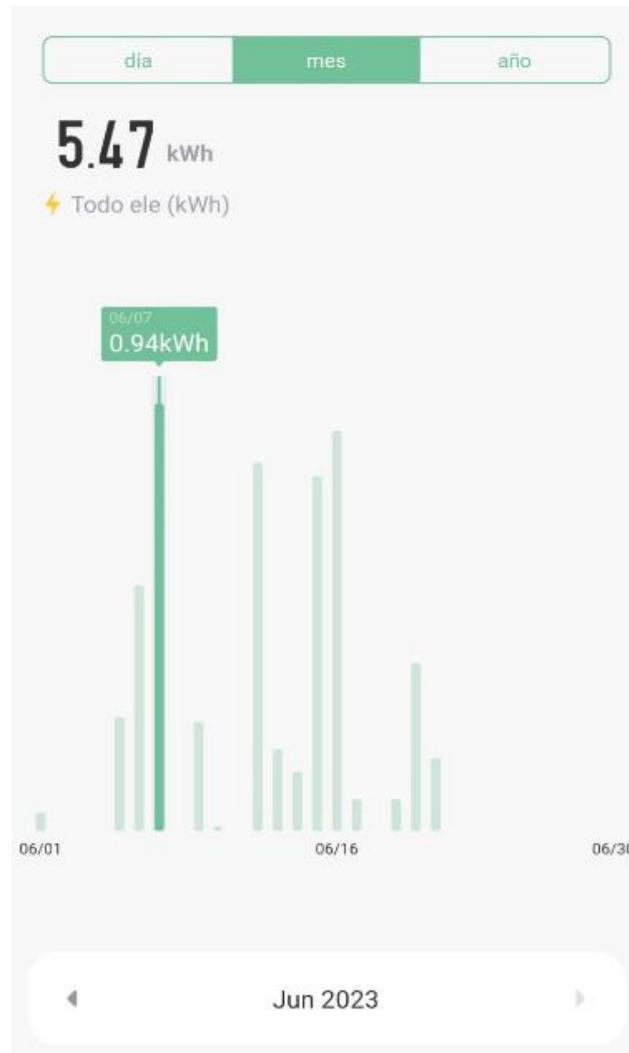


Figura 29. Gráfica de consumo eléctrico del mes de junio mediante medidor inteligente.

5.3.3.3 Análisis de gráficas y datos obtenidos.

Para este punto se evaluó los datos obtenidos del medidor inteligente mediante el software Excel, que permitió obtener gráficas de los sistemas analizados y establecer el porcentaje de ahorro del sistema de control de iluminación automático frente a los sistemas antiguos.

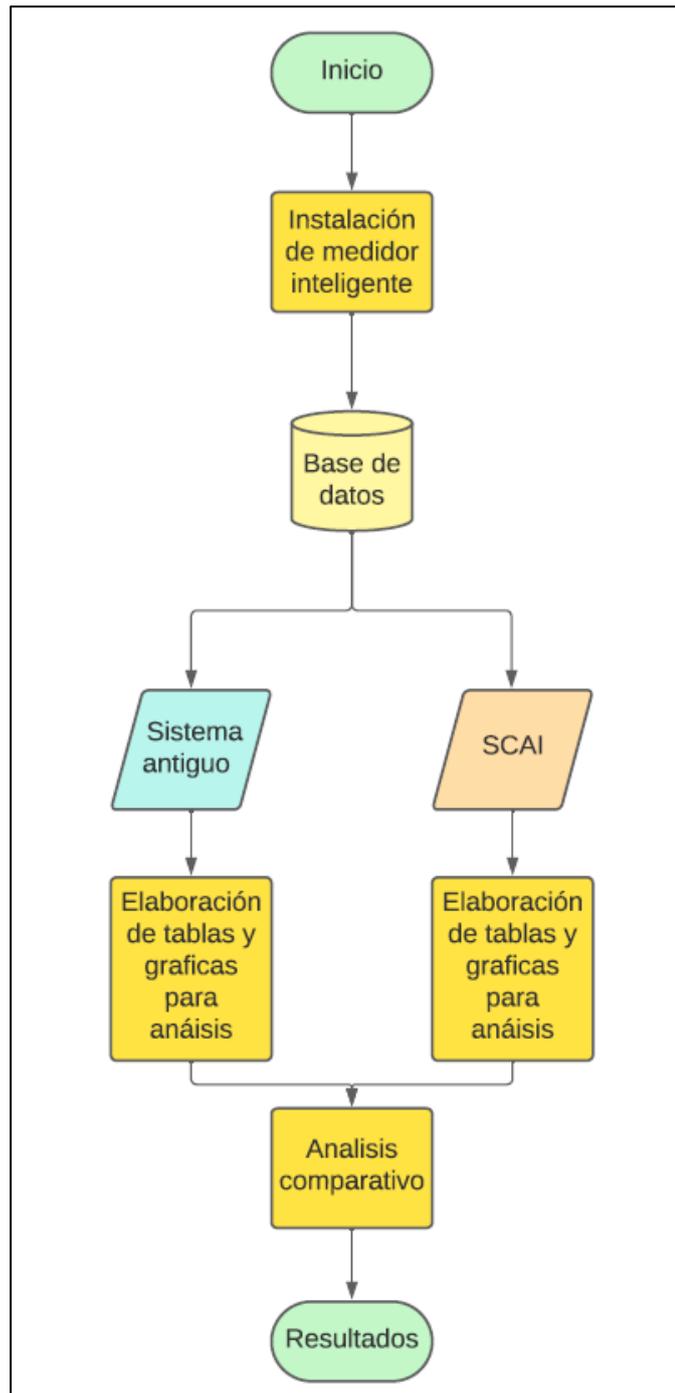


Figura 30. Flujograma que representa el procedimiento de resolución del tercer objetivo.

5.3.4 *Proyección de ahorro energético*

Con la evaluación del nivel de iluminación que existe en cada una de las aulas del bloque A3 de la FEIRNNR, se procedió a proyectar sistemas de control de luminarias en cada una de las aulas del bloque A3. Para esto se consideraron los siguientes pasos con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo “Proyectar ahorro energético y económico si se implementara el control en el bloque A3 de la FEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja.”.

5.3.4.1 Primer paso: Establecer aulas tipo.

Si bien el análisis de iluminación debería ser realizado en cada una de estas aulas, se pudo recortar un poco de trabajo tipificando aulas que sean de igual dimensión. Debido a que el bloque cuenta con tres plantas y dos de ellas tienen las características muy similares y a la misma vez aulas dentro de cada una de las plantas tienen el mismo dimensionamiento, se consideró una cierta cantidad de aulas tipo y así el trabajo de emplazamiento del equipo SCAI se realizó de manera más eficiente

5.3.4.2 Segundo paso: Modelación de aulas tipo en Dialux.

Este paso se consideró debido a que muchas de estas aulas aun cuentan con sistemas de iluminación antiguos, por ello, se decidió proyectar con sistemas de iluminación LED. Para encontrar la configuración apropiada para cada aula se usó la herramienta “Disposición automática para áreas” donde se obtuvo la cantidad de luminarias necesarias para cumplir con el requerimiento de la norma UNE 12464.1.

5.3.4.3 Tercer paso: Emplazamiento de equipo SCAI.

El emplazamiento de los sistemas de control automático se realizó en base a las dimensiones de cada aula tipo, para el caso del aula A312 solo fue necesario ubicar dos multisensores, pero debido a que aulas dentro del mismo bloque poseen características diferentes se tuvieron distintos emplazamientos y cantidad de multisensores.

5.3.4.4 Cuarto paso: Análisis energético.

Se consideró el porcentaje de ahorro que se tuvo al implementar un sistema de control en las luminarias del aula A312 y se lo proyecta a cada una de las aulas, esto se analizará dependiendo del sistema antiguo que poseen las aulas actualmente y el cambio que conllevará implementar un sistema nuevo de luminarias LED

Se consideró la misma metodología para el análisis del tercer objetivo, donde se proyecta el uso de un medidor inteligente dentro del tablero principal del bloque A3, pero como para realizar una remodelación se debería contar con el apoyo económico de la Universidad, se estableció una relación en función de la cantidad de luminarias y sensores y el ahorro que representó para el aula A312, estos datos se relacionaran con la cantidad de aulas en las que se consideró que podría implementarse el sistema de control de iluminación.

5.3.4.5 Quinto paso: Análisis económico

Mediante el análisis energético se pudo realizar un análisis económico, esto en base a la información de costos de adquisición e instalación del sistema SCAI, donde se combinó con el ahorro energético que se obtuvo para establecer el momento en el que el sistema se vuelve rentable.

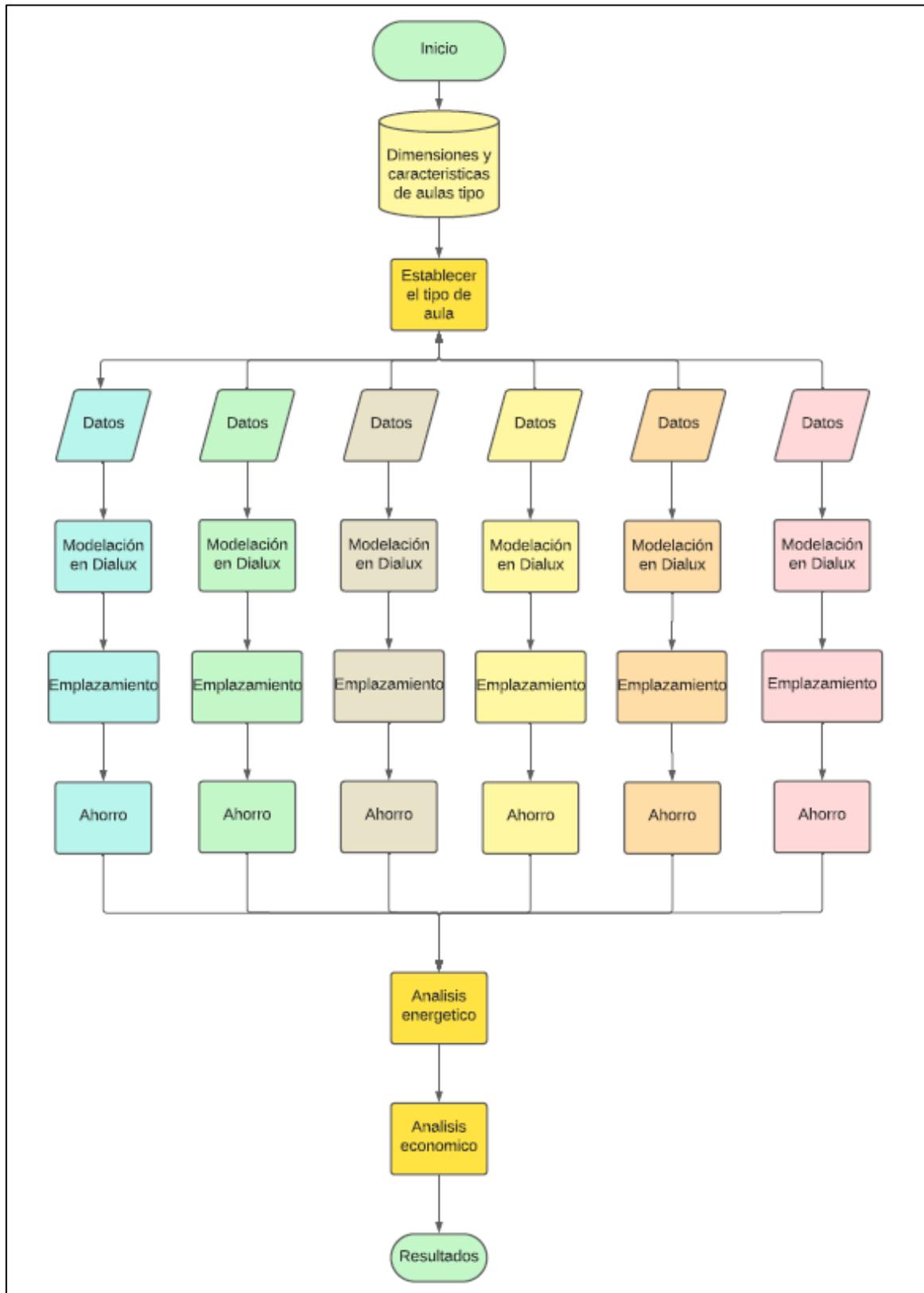


Figura 31. Flujograma para cumplimiento de proyección de ahorro energético.

5.4 Procesamiento y análisis de datos

5.4.1 Nivel de iluminación dentro del Aula A312

5.4.1.1 Datos de entrada del área

La toma de medidas de las dimensiones de un aula es un aspecto crucial en la planificación de espacios educativos, especialmente cuando se considera la importancia de la iluminación. Al medir cuidadosamente las dimensiones del aula, se pueden tomar decisiones estratégicas para aprovechar al máximo la luz natural y artificial disponible.

Tabla 12. Dimensión de aula A312.

Dimensiones correspondientes al aula A312		
Símbolo	Valor	Unidad
a	4,14	m
l	6,58	m
S	27,24	m ²
h'	2,80	m

Adicional a esto se presenta la **Figura 32** que muestra los valores de dimensionamiento en un plano 3D del aula A312.

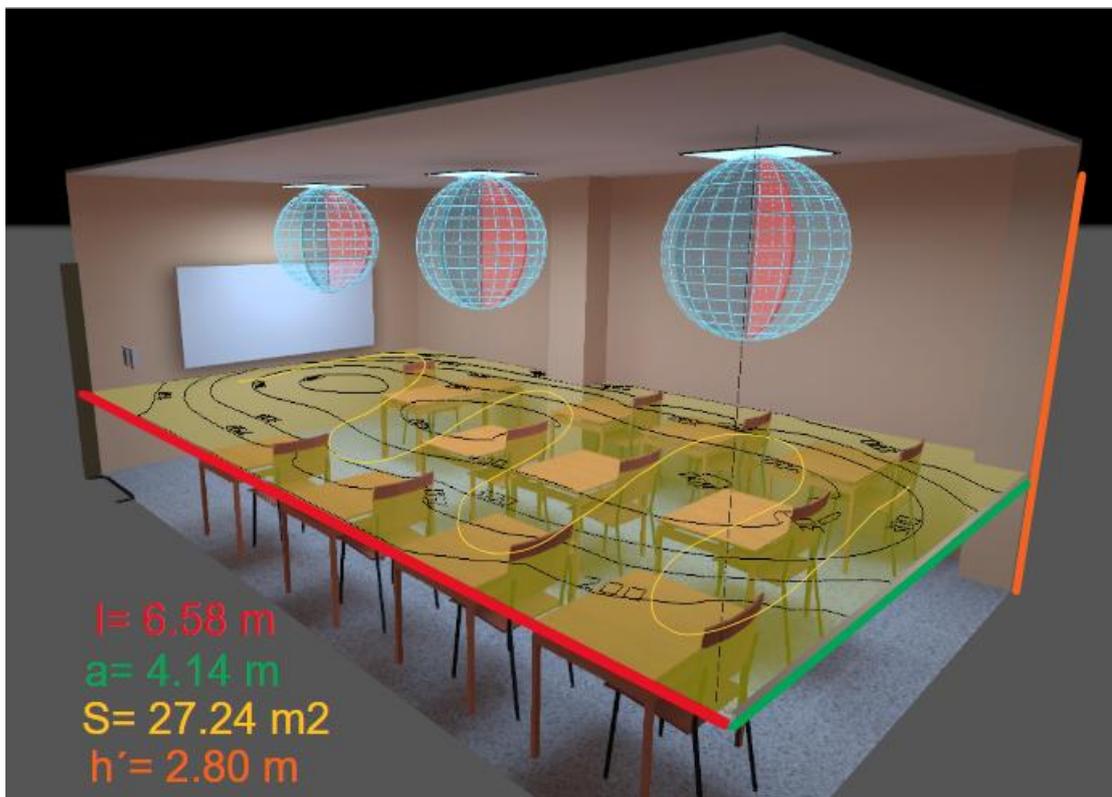


Figura 32. Dimensiones del aula A312 en versión 3D.

5.4.1.2 Definición de plano de trabajo

La altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo, generalmente establecida en 0,85 metros, no solo tiene en cuenta la ergonomía y comodidad de los estudiantes, sino que también se relaciona directamente con una correcta iluminación en el aula. Al colocar las mesas a esta altura específica, se busca evitar obstrucciones en la trayectoria de la luz procedente de las ventanas o de la iluminación artificial del aula.



Figura 33. Área rectangular para cálculo de luxes.

5.4.1.3 Nivel de iluminación dentro del aula

Se eligió un nivel de iluminación de 300 lux el cual lo especifica la norma UNE 12464.1. Siguiendo este estándar, se puede asegurar que el ambiente de iluminación óptimo cumple con los estándares establecidos y brinda las condiciones visuales suficientes para las tareas y actividades que se realizan en ese espacio.

5.4.1.4 Lámpara y luminaria

Para obtener la iluminación artificial se colocó paneles led dimerizables de 45W de 110 lm por W, que poseen los siguientes datos.

Tabla 13. Características de panel LED dimerizable.

Característica	Valor
LED SMD	Honglitronic 2835
Voltaje	100-277 VAC 50/60 Hz
Factor de potencia	$\geq 0,9$
Armónicos (THD)	$< 20\%$
Protocolo de atenuación	0-10 V
Potencia	45
Eficacia	115 lm/W

Característica	Valor
Flujo luminoso	4 600 lm
Temperatura de color	6 000 k
IRC	Ra>= 80
Distribución de luz	120
Temperatura de operación	0 °C - 40 °C
Vida útil	50 000 Hrs
Chasis	Aluminio
Grado de protección	IP40
Resistencia al impacto IK	IK05
Dimensiones	595*595 mm

Fuente: (ecolightins, 2018)

- Altura que se colocaron las luminarias

Como el aula posee una viga que atraviesa el aula, se decidió colocar las mismas suspendidas mediante un soporte colgante para evitar sombras y que el flujo luminoso no se vea afectado, si bien se colocó las luminarias a una menor altura, pero gracias a su panel difusor la iluminación llega correctamente al plano de trabajo establecido.



Figura 34. Viga que atraviesa el Aula A312

A continuación, mostramos las dimensiones con las que se trabajó.

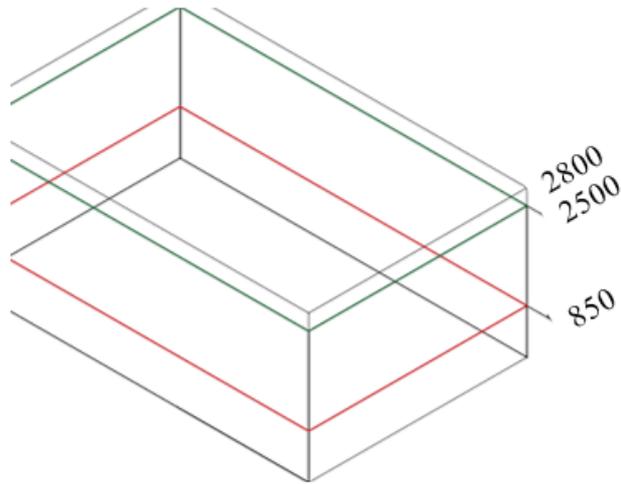


Figura 35. Alturas de luminarias y aula.

5.4.1.5 Coeficiente de utilización

Analizando lo visto en el marco teórico acerca de este coeficiente, primero se debe definir el tipo de sistema de iluminación que se iba a obtener al instalar nuestras nuevas luminarias, en el caso de nuestro tipo de aula y la disposición de luminarias en el mercado se optó por un sistema de iluminación directa, su ecuación se la puede observar en la **Tabla 1**. se reemplazaron los datos y se obtuvo el índice k del aula.

$$k = \frac{4,14m * 6,58m}{1,65m * (4,14m + 6,58m)}$$

$$k = 1,54$$

Una vez definido el índice k se pasó a realizar un análisis tanto visual como investigativo para poder designar los coeficientes de reflexión correspondientes a techo, pared y suelo. Esto se hizo tomando los valores de la **Tabla 2**. donde se los ordenó en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Valores para coeficiente de utilización.

Coeficiente de reflexión	
Superficie	Valor de coeficiente
Techo	0,70-0,85
Paredes	0,50-0,75
Suelo	0,40-0,50

Una vez establecidos los valores procedemos a corregir y encontrar el valor del coeficiente de utilización, la tabla para la corrección suele estar dada por el fabricante, pero se decidió usar la **Tabla 3**. estándar donde se escogieron los siguientes valores.

Tabla 15. Datos para corrección de coeficiente de utilización dentro del aula A312.

Tabla de corrección					
Techo	0,70	0,70	0,70	0,50	0
Pared	0,70	0,50	0,20	0,20	0
Suelo	0,50	0,20	0,20	0,10	0
k (0,6)	77	58	49	48	45
k (1,0)	100	77	69	67	63
k (1,5)	116	91	84	80	77
k (2,5)	129	100	95	90	86
k (3,0)	133	103	99	93	89

Para tener el valor que corresponde al coeficiente de utilización solo debemos sumar cada uno de los valores que se intersecan y dividirlos para el número total, es decir, se debe calcular el promedio de los valores seleccionados, en este caso, el valor que se obtuvo fue el siguiente:

$$Cu = \frac{116 + 91 + 129 + 100}{4 * 100}$$
$$Cu = 1,09$$

5.4.1.6 Coeficiente de mantenimiento

Tomando en cuenta lo dicho por Espinosa (2016), se utilizó un coeficiente de mantenimiento de 0,8 debido a que corresponde a un establecimiento que permanece limpio y ordenado.

5.4.1.7 Flujo luminoso

Con todos los datos que se obtuvieron, se podrá calcular la cantidad de lúmenes que se necesitan para mantener un nivel de iluminación adecuado dado por la norma UNE 12464.1 de 300 lx. Esto se realizó con el uso de la **Ecuación 1** descrita en el marco teórico.

$$\Phi_T = \frac{300lm/m^2 * 27,24m^2}{1,09 * 0,8}$$
$$\Phi_T = 9\ 371,55\ lm$$

5.4.2 Diseño de sistema de control automático de iluminación

5.4.2.1 Lluvia de ideas para construcción de SCAI.

Como método para alcanzar la arquitectura adecuada se usó una lluvia de ideas, se realizó el siguiente flujograma.

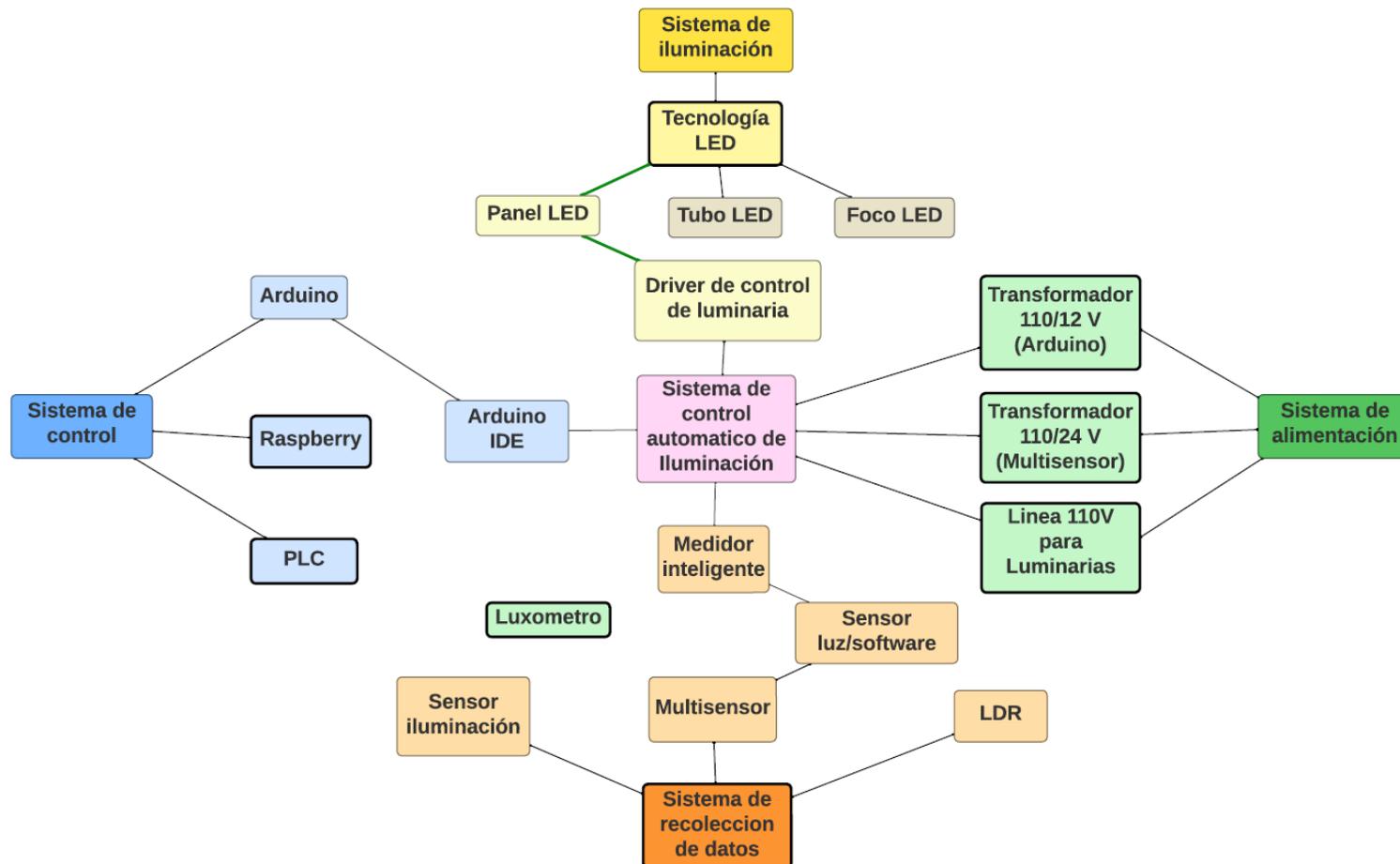
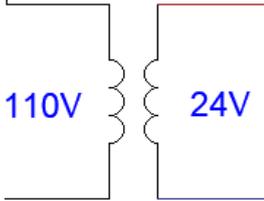
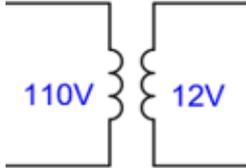
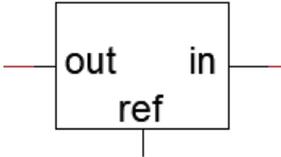
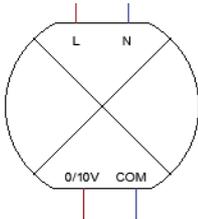
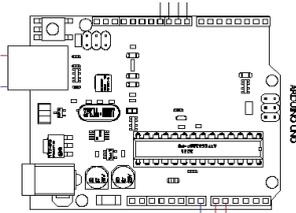


Figura 36. Lluvia de ideas para selección de equipos para sistema de control automático de iluminación.

5.4.2.2 Equipos del sistema.

Se analizó cada uno de los puntos vistos en el marco teórico donde se encontró diferentes equipos que sirvieron en la construcción del sistema de control automático, para implementarlo primero se realizó un análisis de equipos a usar en el sistema.

Tabla 16. Equipos a utilizar en el sistema SCAI.

Nombre	Equipos Símbolo	Descripción
Adaptador AC/AC 110/24 V		<p>Transformador de corriente alterna que transforma el voltaje de 110V a 24V de 500 mA, ideal para la alimentación de multisensores.</p>
Adaptador AC/AC 110/12 V		<p>Transformador de corriente alterna que transforma el voltaje de 110V a 12V, ideal para la alimentación de placa Arduino Uno R3.</p>
Regulador de voltaje		<p>Regulador de voltaje, placa que sirve para regular la cantidad de tensión que deseamos dar a una salida.</p>
Multisensor 0-10 V econtrols		<p>Sensor de movimiento y sensor de luminosidad dentro de un mismo equipo, teniendo una señal de salida de voltaje en función del nivel de luminosidad.</p>
Arduino Uno R3		<p>Placa Arduino donde es posible cargar un algoritmo capaz de detectar la señal de entrada dada por el sensor y enviar la salida necesaria para que se ilumine el panel led.</p>

Equipos		
Nombre	Símbolo	Descripción
Panel LED dimerizable 40W		Panel de iluminación artificial tipo LED que permite regular su iluminación.

5.4.2.3 Diagrama de instalación.

Se analizó cada una de las entradas y salidas que se debe tener para trabajar con los equipos, tanto para que sean alimentados como para obtener un valor lineal, donde se permita trabajar con su valor hacia una placa de programación. El mismo puede apreciarse mejor en el **Anexo 1** plano con código 01.08.

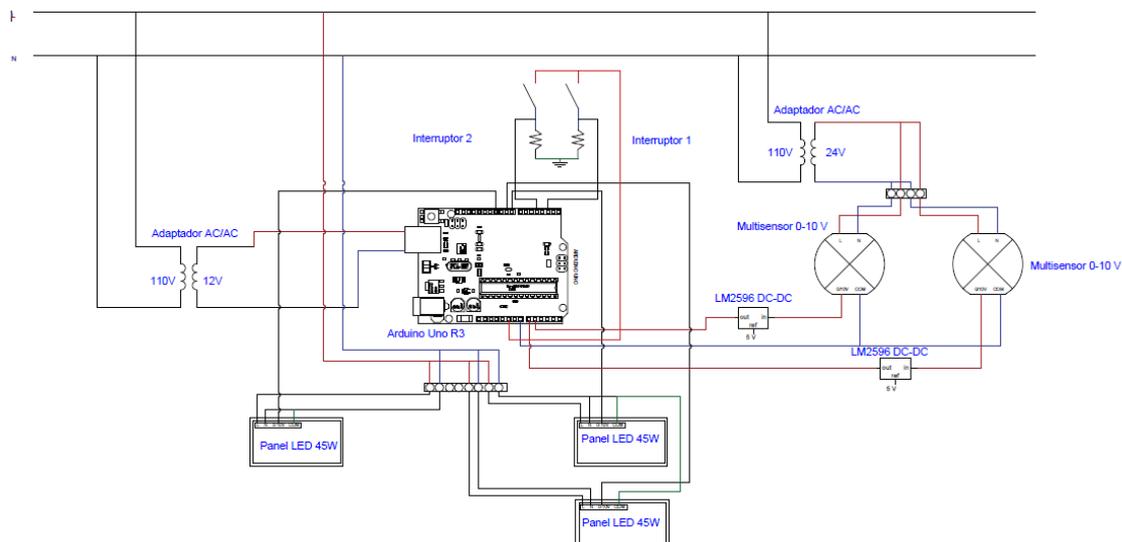


Figura 37. Diagrama de cableado de SCAI.

5.4.2.4 Algoritmo para control de iluminación.

Se analizó la placa de programación escogida para realizar el control y se realizó líneas de código que permitieron cumplir con las siguientes condiciones:

```

const int botonPin = 2;           // Pin del botón 1
const int botonPin2 = 4;         // Pin del botón 2
int estadoBoton = 0;             // Variable para almacenar el estado del botón 1
int estadoBoton2 = 0;           // Variable para almacenar el estado del botón 2
const int salidaPWM = 9;         // Pin de voltaje de salida
const int salidaPWM2 = 10;       // Pin de voltaje de salida

// Función para escalar un valor de entrada desde un rango inicial a un rango deseado
float scaleValue(float inputValue, float inputMin, float inputMax, float outputMin, float outputMax) {
return map(inputValue, inputMin, inputMax, outputMin, outputMax);
}

void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(botonPin, INPUT);       // Configura el pin del boton 1 como entrada
pinMode(botonPin2, INPUT);      // Configura el pin del botón 2 como entrada
pinMode(salidaPWM, OUTPUT);     // Configura la variable pinSalida como salida
pinMode(salidaPWM2, OUTPUT);    // Configura la variable pinSalida como salida
pinMode(9, OUTPUT); // Configurar el pin 9 como salida analógica
pinMode(10, OUTPUT); // Configurar el pin 9 como salida analógica
}

```

Figura 38. Primera parte de algoritmo para control automático.

Ingreso de variables que me servirán tanto para almacenar los datos de entrada de los multisensores como para establecer los valores de entrada de cada pin, donde podemos distinguir las siguientes variables.

Tabla 17. Variables de primera parte usadas en el algoritmo de control del SCAI.

Variable	Función
salidaPWM /salidaPWM2	Variable donde se almacena la cantidad de voltaje de salida que tendrá el pin.
botonPin/ botónPin2	Variable donde se establece el pin del Arduino donde se conectará y se estableció como variable de entrada.
estadoBoton/ estadoBoton2	Se estableció como variable de entrada y tiene un valor inicial de 0, indica que inicialmente el botón estará apagado o en posición 0.

5.4.2.5 Condiciones para distintas etapas del control.

5.4.2.5.1 Etapa 1.

Cuando el interruptor 1 está en posición ON y el interruptor 2 este en posición ON entonces la salida de voltaje será igual a 5V.

```

if (estadoBoton2 == 0){
  if (estadoBoton == 0) {
    Serial.print("voltaje maximo");
    analogWrite(salidaPWM, 255) ;
    analogWrite(salidaPWM2, 255) ;}}

```

Figura 39. Algoritmo para control de iluminación etapa 1.

5.4.2.5.2 Etapa 2.

Cuando el interruptor 1 está en posición OFF y el interruptor 2 este en posición OFF entonces la salida de voltaje será igual a 0 V.

```

if (estadoBoton2 == 1){
  if (estadoBoton == 1) {
    Serial.print("voltaje minimo");
    analogWrite(salidaPWM, 0);
    analogWrite(salidaPWM2, 0);}}

```

Figura 40. Algoritmo para control de iluminación etapa 2.

5.4.2.5.1 Etapa 3.

Cuando el interruptor 1 está en posición ON y el interruptor 2 este en posición OFF entonces la salida de voltaje se ajustará en función del voltaje que se ubique, es decir entre menor sea el voltaje de entrada medido por el sensor mayor será el voltaje de salida que va hacia el driver, esto hasta que el voltaje se ajuste hacia el valor predeterminado.

```

if (estadoBoton == 1 and estadoBoton2==0) {
  // Escalar el valor leído del rango de 0-1023 a un rango de 0-255 (valores analógicos)
  int scaledValue = scaleValue(sensorValue, 0, 835, 255, 0);
  int scaledValue2 = scaleValue(sensorValue2, 0, 835, 255, 0);

  // Escribir el valor escalado en el pin 9 (salida analógica)
  analogWrite(9, scaledValue);
  analogWrite(10, scaledValue2);
}

```

Figura 41. Algoritmo para control de iluminación etapa 3.

5.4.2.5.1 Etapa 4.

Cuando el interruptor 1 está en posición OFF y el interruptor 2 este en posición ON entonces la salida de voltaje será de 1 voltio en los paneles posteriores del aula y de 0V en el panel delantero (cerca a la pizarra).

```
if (estadoBoton2 == 1 and estadoBoton==0) {  
  analogWrite(salidaPWM , 0) ;  
  analogWrite(salidaPWM2 , 51) ;}  
}
```

Figura 42. Algoritmo para control de iluminación etapa 4.

5.4.2.6 Construcción de SCAI.

Una vez se obtuvo todo lo necesario para la construcción del primer prototipo, se tomó en cuenta la arquitectura de cada elemento, y como se podía ajustar mejor a un sistema de aulas, donde podría sufrir golpes, es por esto que se usó una caja de paso termoplástica con protección IP40, y se procedió a cortar la parte superior para colocar el Multisensor, así mismo, el corte para los interruptores que se ubicaron debajo del sensor, esto es posible observarlo en la **Figura 42**.

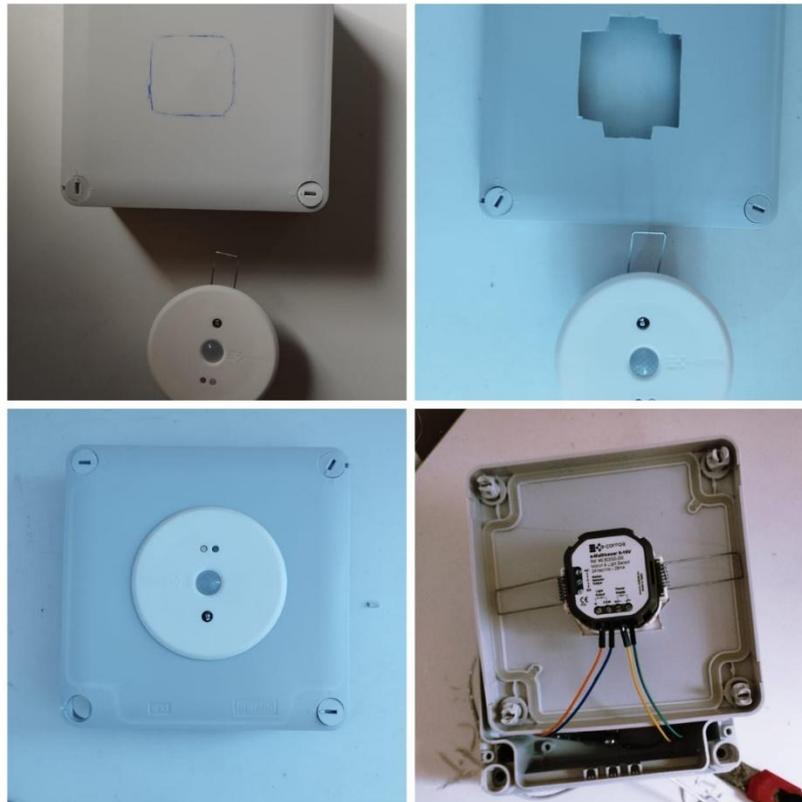


Figura 43. Proceso de construcción de base de SCAI.

Posterior a esto, se colocaron los equipos en el interior de la caja termoplástica de manera que tengan una distancia prudente que pueda evitar cualquier fallo o cortocircuito.

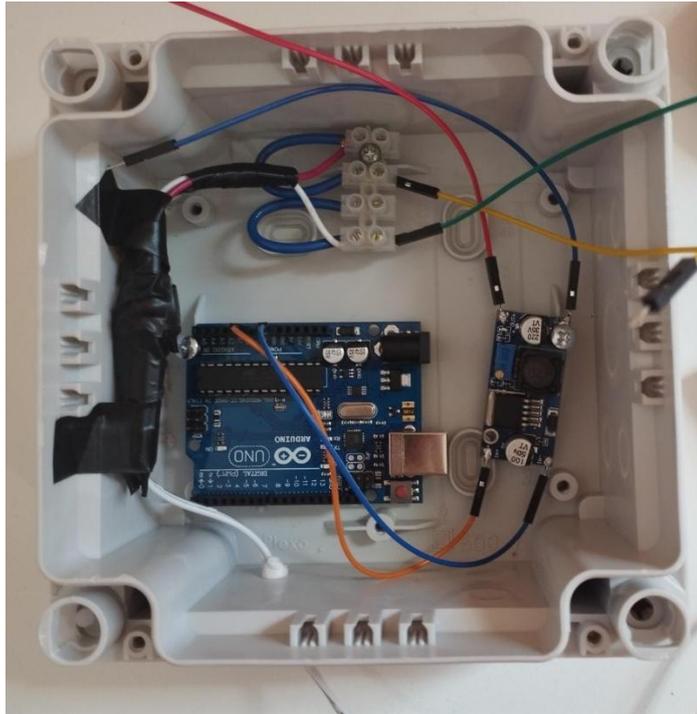


Figura 44. Interior donde está ubicado el sistema de control.

A continuación, se procedió a cargar el programa en la placa de programación y realizar el cableado tomando en cuenta el diagrama de instalación, y se procedió a colocar cinta termo retráctil para proteger el cableado.



Figura 45. Cableado interno de SCAI.

Por último, se realizó el mismo procedimiento para la construcción de la base para el segundo sensor, donde se puede apreciar en la **Figura 45**.



Figura 46. Elaboración de segunda base para Multisensor.

5.4.2.7 Emplazamiento de luminarias y SCAI.

5.4.2.7.1 Cálculo de número de luminarias.

Aquí se partió de acuerdo a la **Ecuación 4**, teniendo en cuenta los valores de flujo luminoso mínimo total, que resulto del cálculo de nivel de iluminación, donde se procedió a resolver la ecuación y se obtuvo el siguiente número de luminarias.

$$NL = \frac{9\,371,55\text{ lm}}{1 * 4\,000\text{ lm}}$$

$$NL = 2,34\text{ luminarias}$$

$$NL = 3\text{ luminarias}$$

Inicialmente el valor de flujo luminoso por luminaria a tomar debe ser de 4 500 lm pero se propuso un factor de seguridad de al menos 1,10 para asegurar que se va a cumplir con el requerimiento de la norma UNE 12464,1 es por esto que se tomó un valor de flujo luminoso de 4000 lúmenes.

5.4.2.7.2 Emplazamiento de luminarias.

Teniendo el número de luminarias necesarias para cumplir con la normativa se procedió a ubicarlas de manera que la iluminación llegue a cada espacio de la superficie, para ello se

empleó las siguientes ecuaciones, cabe destacar que esto es un aproximado y la disposición se puede configurar de muchas maneras.

- Luminarias por ancho del aula.

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{3}{6,58 \text{ m}} * 4,14 \text{ m}}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{1,88}$$

$$N_{ancho} = 1,33$$

- Luminarias por largo del aula.

$$N_{largo} = 1,33 * \frac{6,58 \text{ m}}{4,14 \text{ m}}$$

$$N_{largo} = 2,11$$

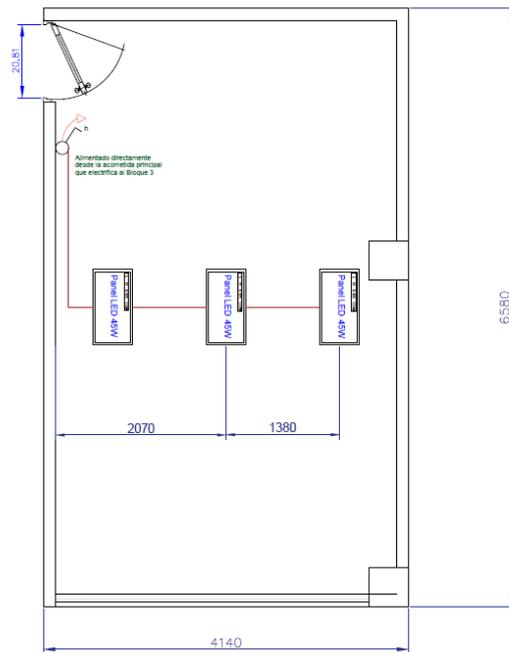
- Configuración final.

Se analizaron las posibles configuraciones para instalar el sistema de iluminación, las cuales fueron representadas en la siguiente tabla. De igual manera se contrasto los resultados obtenidos mediante el software Dialux.

Tabla 18. Posibles configuraciones para ser implementadas en aula A312.

Configuración	Diagrama
3 x 1	

1 x 3



Como regla se debe comprobar que se cumpla la siguiente norma de separación de luminarias:

$$e \leq 1,6 h$$

- Comprobación de distancia de configuración 1.

$$2,19 m \leq 4,48 m$$

- Comprobación de distancia de configuración 2.

$$1,38 m \leq 4,48 m$$

5.4.2.7.3 Comprobación de que el sistema instalado cumpla con los requisitos.

Luego de realizar el emplazamiento, se procedió a comprobar que las luminarias seleccionadas cumplen con el mínimo requerido para iluminar el área de trabajo.

$$E_m = \frac{3 * 1 * 4\ 500\ lm * 1,09 * 0,8}{27,24\ m^2}$$

$$E_m = 432,15\ lx$$

5.4.3 Pruebas de funcionamiento y comparación de los sistemas antiguos con SCAI

5.4.3.1 Instalación de equipo de medición.

Se analizó los distintos equipos tanto presentes en el mercado nacional como internacional y se decidió importar un medidor inteligente marca eMylo que posee las siguientes características:

Tabla 19. Especificaciones de medidor inteligente eMylo

Especificación	Valor
Modelo	EAI-90
Método de comunicación	WiFi
Voltaje de entrada	90-250V
Corriente máxima	60 A
Número de fases	Una fase
Temperatura de trabajo	-45°C a 70°C
Dimensiones	79*37*66 mm

Para la instalación se tomó en cuenta los planos del aula que fueron obtenidos por medio del software AutoCAD, donde se observó que el interruptor acciona las dos luminarias presentes en el aula, por lo que se instaló lateral al mismo, tomando la fase de interruptor y el neutro de una de las luminarias y posterior a eso se enlazó con el WiFi del bloque A3.



Figura 47. Instalación de medidor inteligente.

Aquí se comprobó que cable corresponde a la fase y se conectaron a la entrada del medidor inteligente, se tomó en cuenta el diagrama que ofrece el manual del usuario y que se puede observar en la **Figura 15**. Se siguieron las indicaciones y se instaló el medidor inteligente cómo es posible observarlo en la **Figura 47**.



Figura 48. Medidor inteligente eMylo instalado.

5.4.3.2 Recopilación de información.

Para este paso se decidió emplear el software Excel donde se almacenarán los datos de los dos sistemas a analizar. Los datos del sistema antiguo fueron tomados desde: lunes 10 de julio de 2023 hasta viernes 14 de julio de 2023, donde se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 20. Consumo con sistema antiguo en el aula A312 desde lunes 10 de julio de 2023 hasta viernes 14 de julio de 2023.

Horas	Días				
	10 de julio	11 de julio	12 de julio	13 de julio	14 de julio
de 7-8 h					
de 8-9 h					
de 9-10 h	0,12	0,07	0,09	0,05	0,09
de 10-11 h	0,16	0,16	0,14	0,14	0,14
de 11-12 h	0,17	0,18	0,15	0,12	0,12
de 12-13 h	0,03	0,03			
de 13-14 h					
de 14-15 h	0,11	0,09	0,01	0,03	0,05
de 15-16 h	0,16	0,16	0,16	0,13	0,15
de 16-17 h	0,18	0,19	0,17	0,13	0,16
de 17-18 h	0,14	0,08	0,08	0,06	0,15
de 18-19 h					0,12
de 19-20 h					0,03
de 20-21 h					
Total, diario	1,06 kWh	0,96 kWh	0,80 kWh	0,81 kWh	1,01 kWh
Total, semana			4,64 kWh		

Los datos correspondientes al nuevo sistema implementado, fueron tomados desde el 17 de julio de 2023 hasta el 21 de julio de 2023, donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 21. Datos de consumo de SCAI en el aula A312 desde el 17 de julio de 2023 hasta el 21 de julio de 2023.

Horas	Días				
	17 de julio	18 de julio	19 de julio	20 de julio	21 de julio
de 7-8 h					
de 8-9 h					
de 9-10 h	0,03	0,03		0,02	0,02
de 10-11 h	0,07	0,07	0,05	0,03	0,07
de 11-12 h	0,06	0,05	0,04	0,06	0,07
de 12-13 h					
de 13-14 h					
de 14-15 h		0,02	0,03		0,04
de 15-16 h	0,02	0,07	0,07	0,05	0,07
de 16-17 h	0,06	0,06	0,07	0,06	0,04
de 17-18 h					
de 18-19 h					
de 19-20 h					
de 20-21 h					
Total, diario	0,24 kWh	0,30 kWh	0,26 kWh	0,22 kWh	0,31 kWh
Total, semana			1,33 kWh		

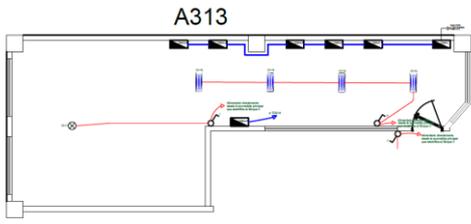
5.4.4 Cálculo de número de luminarias

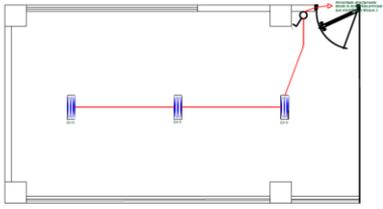
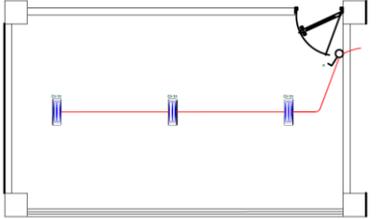
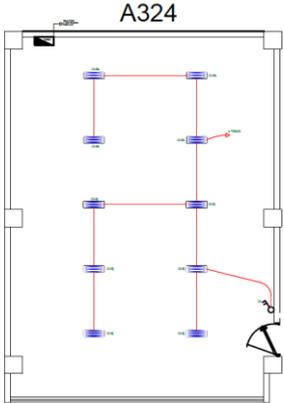
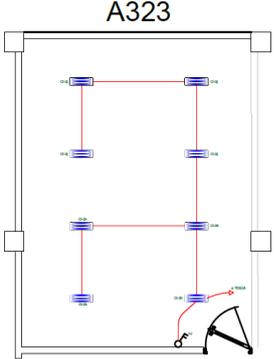
Con la evaluación del nivel de iluminación que existe en cada una de las aulas del bloque A3 de la FEIRNNR, se procedió a proyectar el equipo SCAI.

5.4.4.1 Primer paso: Establecer aulas tipo.

Aquí, se tomaron los datos que fueron proporcionados en los planos del bloque A3, donde están cada una de las aulas, se establecieron seis tipos de aulas dentro del bloque, las cuales fueron codificadas y agrupadas de acuerdo a la **Tabla 22**.

Tabla 22. Distribución de aulas tipo para posterior dimensionamiento de sistema de iluminación.

Código	Descripción	Plano
A301	Aula A313 ubicada en la primera planta, cuenta con un sistema de iluminación fluorescentes.	

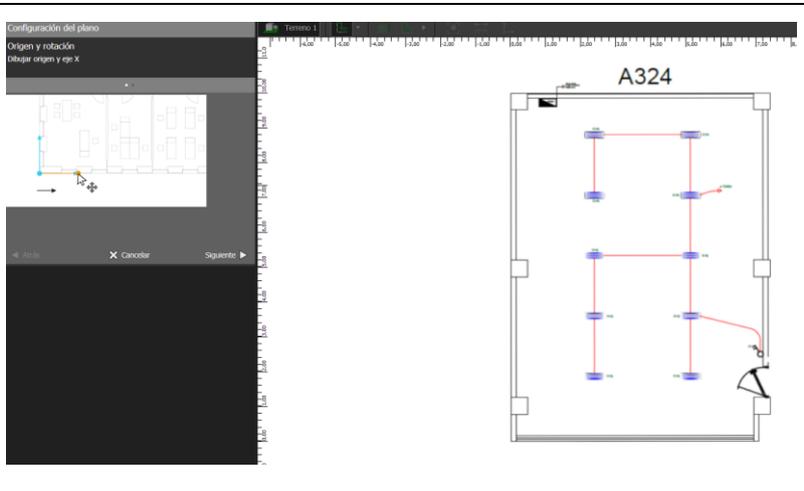
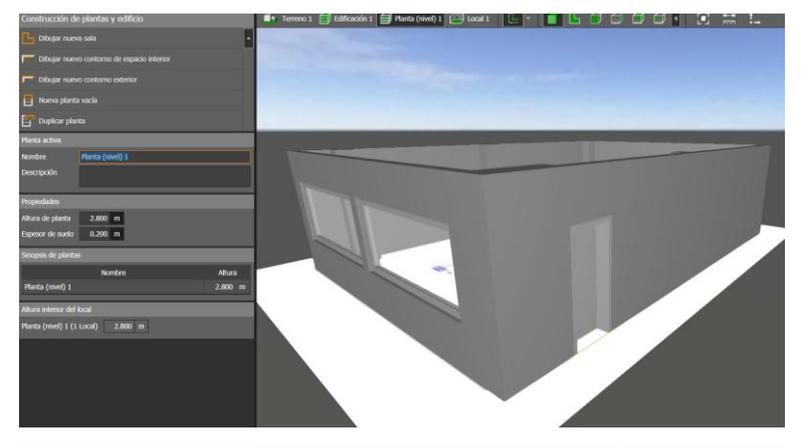
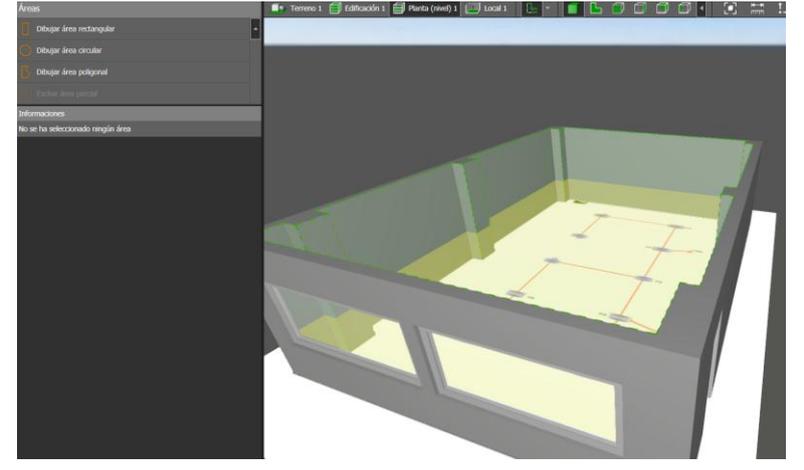
Código	Descripción	Plano
A302	Aula A314, ubicada en la primera planta, cuenta con un sistema de iluminación fluorescente.	 <p>A314</p>
A303	Aula A315, ubicada en la primera planta, cuenta con un sistema híbrido de luminaria LED y fluorescente.	 <p>A315</p>
A304	Aulas A324 y A334, ubicada en la segunda y tercera planta, cuenta con sistemas de iluminación fluorescentes.	 <p>A324</p>
A305	Aulas A322, A323, A332 y A333, ubicadas en la segunda y tercera planta, cuenta con sistemas de iluminación fluorescentes.	 <p>A323</p>

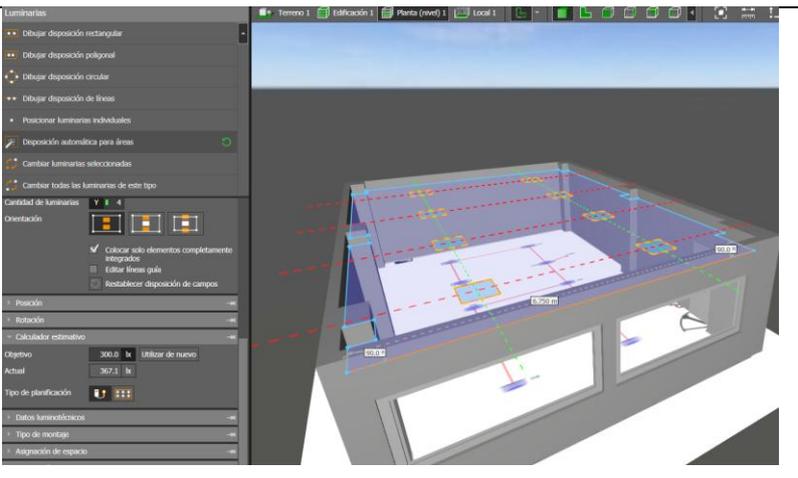
5.4.4.2 Segundo paso: Modelación de aulas tipo en Dialux.

Este paso se realizó usando el software Dialux, donde se ubicó cada uno de los planos tipo obtenidos en la **Tabla 22**, se estableció una altura de trabajo de 0,85 m, y se usó la herramienta de disposición automática por áreas, estableciendo el nivel mínimo de luxes en

300, tomando en cuenta que se dispuso un emplazamiento con las mismas luminarias usadas en el aula A312.

Tabla 23. Modelación en software Dialux.

Descripción	Dialux
<p>Primero se estableció el plano del aula que se simulará en formato JPG, y se dan los parámetros iniciales de punto de origen y se determinó la escala estableciendo la distancia que hay entre dos puntos del plano.</p>	
<p>Seguido de esto se procedió a colocar tanto las áreas exteriores como interiores y dar la altura que tendrán las paredes, esto con el fin de tener una visión más clara del espacio el cual se trabajó.</p>	
<p>A continuación, se estableció el área de trabajo, tomando en cuenta lo visto en la metodología se usó una altura de área de trabajo de 0.85 m.</p>	

Descripción	Dialux
<p>Por último, se usó la herramienta de disposición por áreas, se ubicó un objetivo de mínimo 300lx y se alcanzó el siguiente número de luminarias</p>	

5.4.4.3 Tercer paso: Emplazamiento de equipo SCAI.

Al tener una arquitectura centralizada, fue necesario ubicar un Multisensor en una ubicación que sea fácil de manipular, esto debido a que se realizó un sistema de interruptores que activa y desactiva las distintas etapas y condiciones que tiene el sistema de control automático. Es por esto que se decidió ubicar el control con botoneras a 1,70m desde el suelo y se distribuyó dependiendo al número de luminarias que es capaz de controlar.

5.4.4.4 Cuarto paso: Análisis energético.

Tomando en cuenta el ahorro dado por el aula A312 en función de la cantidad de luminarias que es capaz de controlar, se analizó el supuesto ahorro energético por cada cantidad de luminarias que puede controlar el sistema y el porcentaje de ahorro que implicó haber utilizado este sistema, el cual se lo proyectó a un consumo mensual total del edificio tanto con el sistema que posee actualmente como el que se proyectaría.

Para encontrar el índice de error que poseen los valores que se proyectaron y compararlos con los valores reales se usó la siguiente **Ecuación 5**

$$Ep = \frac{|Vr - Ve|}{Vr} * 100$$

5.4.4.5 Quinto paso: Análisis económico

Se analizó mediante una tabla de presupuesto la cual implicó el valor de cada uno de los equipos, el costo de mano de obra y transporte para obtener un valor total del SCAI. Este valor se lo comparó teniendo en cuenta la vida útil de los equipos y el porcentaje anual de ahorro que representa instalar este tipo de controles automáticos, con esto se puede saber si el sistema instalado es rentable a futuro y en cuanto tiempo se recuperaría la inversión.

Además, se realizó un análisis del valor actual neto y la tasa interna de retorno que permitió establecer la rentabilidad del proyecto, para ello se usó la siguiente Ecuación, también se llevó a cabo en el software Excel para así obtener las gráficas correspondientes a vida útil del sistema contra año en que se recuperó la inversión inicial.

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{In - En}{(1 + i)^n}$$

El análisis de la inversión tiene dos objetivos principales: en primer lugar, determinar si la inversión es viable; en segundo lugar, se compararon las diferentes inversiones para identificar cuál de ellas es más favorable en términos absolutos. Los criterios de decisión que se utilizaron son los siguientes:

$VAN > 0$: Si el Valor Actual Neto (VAN) es mayor que cero, significa que el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida, generará beneficios.

$VAN = 0$: Si el VAN es igual a cero, el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, lo que lo hace indiferente en principio.

$VAN < 0$: Si el VAN es menor que cero, el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

6. Resultados

6.1 Nivel de iluminación para el aula A312

Es fundamental conocer el nivel de iluminación adecuado para un espacio de trabajo al instalar nuevos sistemas de iluminación y control. Para ello, existen varios métodos para determinar este valor, siendo uno de los más utilizados el método de los lúmenes. Este proceso tiene como objetivo encontrar el flujo luminoso necesario para cumplir con la norma de iluminación NOM 124641.1, la cual establece el nivel mínimo de luxes requerido en un aula de 300. Tomando esto en cuenta, se obtuvieron los valores y niveles de iluminación que se pueden apreciar en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Resultados de nivel de iluminación.

Variable	Nivel mínimo (300lx)	Nivel objetivo (350lx)	Nivel óptimo (500lx)
Índice k	1,54	1,54	1,54
Coefficiente de utilización (Cu)	1,09	1,09	1,09
Coefficiente de mantenimiento (Cm)	0,8	0,8	0,8
Flujo luminoso (Φ_T)	9 371,55 lm	10 933,48 lm	15 619,26 lm

Los datos obtenidos correspondientes a cantidad de luxes a través del método de los lúmenes fueron comparados con los resultados de la simulación proporcionada por el software Dialux. Los resultados se presentan en la **Tabla 25** a continuación.

Tabla 25. Comparación entre metodología para obtención de flujo luminoso.

	Método de los lúmenes	Software Dialux
Em nominal	432,15 lx	340 lx
Luminarias a emplear	3 luminarias LED dimerizables	3 luminarias LED dimerizables
Valor de iluminación real	Ajustado a 350 lx	

6.2 Construcción de sistema de control automático de iluminación

La elaboración de este sistema se realizó de manera experimental debido a la escasez de sistemas similares previamente instalados. Durante el proceso de construcción, se cumplió con cada uno de los siguientes pasos de forma secuencial.

6.2.1 Equipos seleccionados para construcción

Una vez seleccionados los equipos necesarios para la construcción del control automático de iluminación, se realizó una búsqueda exhaustiva en el mercado nacional e internacional para explorar las diversas opciones disponibles. Tras evaluar cuidadosamente las alternativas, se optó por los siguientes modelos.

Tabla 26. Equipos seleccionados para construcción.

Equipo	Modelo	Precio Unitario (\$)	Cantidad	Total (\$)
Adaptador AC/AC 110/24 V	Ring doorbell X003DSG15F	20	1	20
Adaptador AC/AC 110/12 V	Huawei	5	1	5
Regulador de voltaje	Boss XL6009	3,50	2	7
Multisensor 0-10 V econtrols	MS.602000-000	142	2	284
Arduino	Arduino Uno R3	20	1	20
Panel LED dimerizable 40W	VELPND45W 60X60	43	3	130
Medidor inteligente	EAI-90	41	1	41
Jumpers	-	0,10	20	2
Interruptores de 2 posiciones	-	0,50	2	1
Cable AWG 24	Jurui 24AWGX2C	0,30	10	3
Borneras	-	0,50	2	1
Caja termoplástica	Legrand 180X140X86mm	5	2	10
Total (\$)				539

6.2.2 *Diseño final de sistema de control*

Aunque el diseño no sigue una norma establecida para su construcción debido a su reciente aumento en el ámbito nacional, se encontró un diseño estético y duradero. El diseño consta de un espacio destinado para la alimentación de Multisensor 1 y Arduino, además de una salida para la alimentación de Multisensor 2.

La salida hacia el driver dimerizable se distribuye hacia los drivers mediante una bornera que conecta la salida del sistema de control con la entrada del driver dimerizable.

En la parte superior, se puede apreciar tanto el Multisensor como su sistema de interruptores, el cual permite saltar entre los modos de funcionamiento que posee el equipo.

6.3 **Pruebas de funcionamiento en Aula A312**

Tras la instalación del sistema de iluminación y el sistema de control en el aula de estudio, se pudo apreciar una notable mejora en la cantidad de iluminación dentro del espacio,

representando solo una pequeña parte de los beneficios que aportan estas implementaciones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

6.3.1 Implementación de sistema de iluminación y control

6.3.1.1 Sistema de iluminación.

Se procedió a instalar el sistema de iluminación y comprobar su funcionamiento, para ello se decidió realizar el emplazamiento de acuerdo a la siguiente configuración:

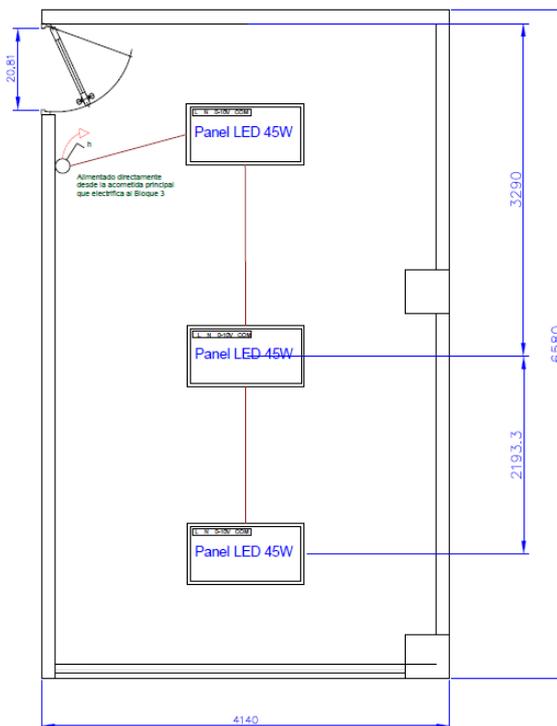


Figura 49. Configuración escogida para implementar en aulas A312.

Se optó por esta configuración para lograr una distribución óptima del flujo luminoso en toda el aula. Cada una de las luminarias fue instalada y verificada para asegurarse de que funcionaran correctamente, antes de proceder a instalar el sistema de control. Por motivos estéticos del techo, se dejarán las luminarias antiguas en su lugar, aunque sin estar conectadas. No obstante, esto no afecta en absoluto a la iluminación, ya que las nuevas luminarias se instalaron utilizando soportes colgantes para que se evitaran sombras no deseadas.



Figura 50. Sistema de iluminación implementado en el aula A312.

Para el sistema de control automático, se procedió a instalar de acuerdo al siguiente plano, por cuestiones estéticas y de funcionamiento el nodo 1 de control del sistema de control automático de iluminación (SCAI), se lo ubicó de acuerdo al siguiente plano:

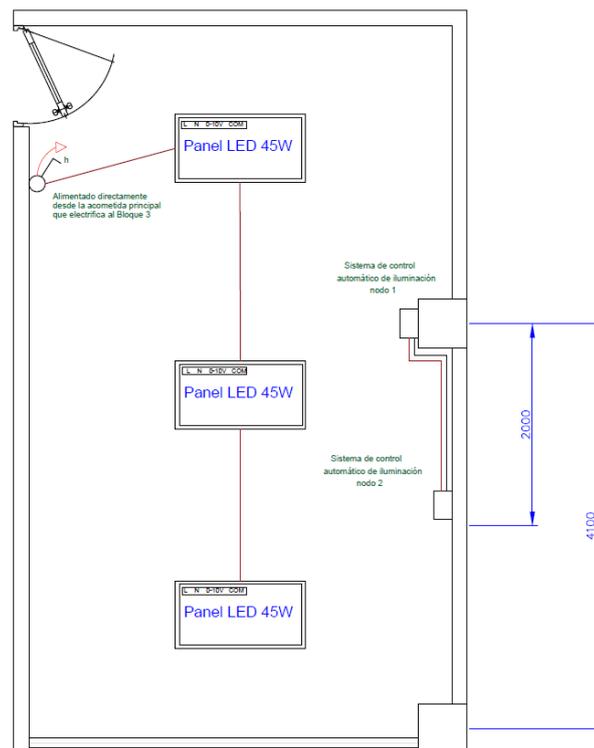


Figura 51. Disposición de nodos del sistema de control ubicados en el aula A312.

Se decidió por este emplazamiento debido a que, colocando cada nodo entre las luminarias, lo cual sería lo más recomendado, tendríamos falla en la lectura debido a sombras por la disposición de la columna, la ubicación de los nodos al ser implementados quedó de la siguiente manera:



Figura 52. Implementación de sistema de control en el aula A312.

6.3.2 *Primera prueba de funcionamiento de sistema de control (sin implementar en aula)*

Como primera prueba de funcionamiento se analizó los voltajes que se obtuvieron en la salida del equipo que será conectada al driver, donde dependiendo de que condición se encuentra trabajando se obtiene un voltaje diferente de salida. Se conectó el equipo y se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 27. Voltajes obtenidos de medición de salida de SCAI.

Condición	Voltaje
Interruptor 1 y 2 en posición ON	5 V
Interruptor 1 y 2 en posición OFF	0 V
Interruptor 1 en posición ON y 2 en posición OFF	Dependiendo de la cantidad de voltaje de entrada varia de entre 0 y 5 voltios
Interruptor 2 en posición ON y 1 en posición OFF	1 V

6.3.3 *Segunda prueba de funcionamiento de sistema de control (implementado en el aula)*

Este análisis se llevó a cabo con el propósito de verificar los voltajes de salida de nuestro sistema de control una vez implementado en el Aula A312. Dependiendo de la posición de los interruptores, se obtendrá un nivel de voltaje que regulará el driver dimerizable.

Tabla 28. Valores obtenidos en segunda prueba de funcionamiento una vez implementado en el aula A312.

Condición	Voltaje	Evidencia
Interruptor 1 y 2 en posición ON	5 V	
Interruptor 1 y 2 en posición OFF	0 V	
Interruptor 1 en posición ON y 2 en posición OFF	Rango (0-5 V) según voltaje de entrada	
Interruptor 2 en posición ON y 1 en posición OFF	0,995 V/0 V	

6.4 Análisis comparativo de sistemas

En esta tabla comparativa, se analizaron las diferencias clave entre el sistema antiguo de iluminación y un nuevo sistema de control automático de iluminación con tecnología LED dimerizable. Se evaluarán aspectos cruciales como eficiencia energética, durabilidad, calidad de luz, vida útil y costos operativos. Con ello, se pretende demostrar las ventajas significativas que ofrecen los sistemas LED, consolidándose como una opción valiosa y sostenible en el campo de la iluminación moderna.

Tabla 29. Análisis comparativo entre sistema antiguo de iluminación y sistema de iluminación LED Dimerizable.

	Sistema antiguo	Sistema de control automático de iluminación (SCAI)
Luminarias	4	3
Tipo de luminaria	Fluorescente	LED Dimerizable
Potencia por luminaria	40W	45W
Costo	Bajo	Alto
Selección de escenas	No	Si (Modo automático-Modo proyección)
Vida útil	5 000 h	50 000 h
Panel difusor de luminosidad	No	Si
Impacto ambiental	Mayor huella de carbono	Menor huella de carbono
Consumo mensual	27,56 kWh	10,55 kWh
Porcentaje de ahorro		62,29 %
Consumo energético por área	1,0007 kWh/m ²	0,3830 kWh/m ²

En la **Tabla 29** se realizó una comparativa y se resaltó las ventajas del SCAI sobre los sistemas de iluminación tradicionales en varios aspectos. Su eficiencia energética, larga vida útil y mejor calidad de luz es una opción más atractiva y sostenible para iluminar diversos entornos.

6.4.1 Datos obtenidos de sistema antiguo

En esta recopilación de datos, se exploró el comportamiento del sistema de iluminación antiguo en términos de consumo energético. Con el uso de estos datos se dio a entender el impacto ambiental y los costos operativos asociados a dicho sistema. Asimismo, se buscó obtener información relevante que respalde la toma de decisiones para la transición a sistemas de iluminación más avanzados, como los sistemas LED.



Figura 53. Consumo eléctrico de sistema de iluminación antiguo medido por equipo Emylo.

El análisis de los datos recopilados proporcionó una visión clara y fundamental del rendimiento del sistema de iluminación antiguo, lo que permitió comprender mejor su eficiencia y establece la base para considerar soluciones más modernas y eficientes. Esto se hizo con el propósito de lograr una iluminación más sostenible y adecuada a las necesidades actuales.

6.4.2 Datos obtenidos de sistema actual

Los datos obtenidos presentes en la **Figura 53** proporcionó valiosa información que permitió tomar decisiones sobre la implementación y optimización de sistemas de iluminación LED en diversos espacios. Esto promovió la adopción de tecnologías más eficientes y amigables con el medio ambiente en la iluminación moderna dentro del bloque A3 de la Facultad de Energía.



Figura 54. Consumo eléctrico de SCAI medido por equipo Emylo.

6.4.3 Comparativa entre sistemas

El análisis de los datos fue fundamental para proporcionar una visión clara sobre qué sistema de iluminación es más eficiente en términos de consumo energético, costos y, en última instancia, su impacto en el medio ambiente. Con esta información, se buscó brindar una base sólida para la toma de decisiones informadas en futuros proyectos de iluminación, buscando promover el uso responsable y sostenible de los recursos energéticos en el entorno universitario y más allá.

En la siguiente gráfica comparativa, donde se expuso los datos reales recopilados en el aula universitaria durante un período determinado, considerando diferentes escenarios y condiciones de iluminación. Los resultados obtenidos permitieron comparar el consumo energético de ambos sistemas y destacar las ventajas y desventajas de cada uno.

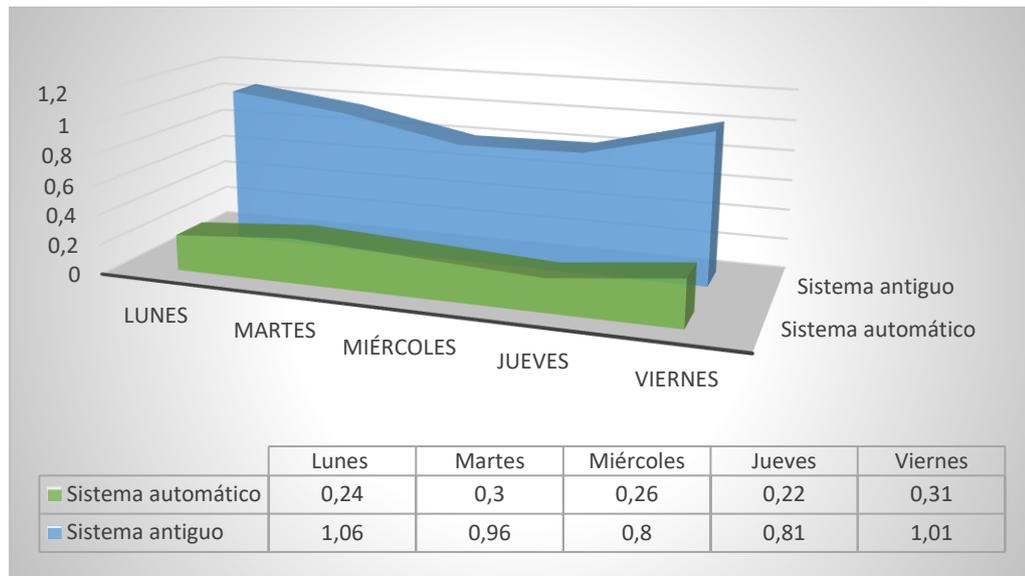


Figura 55. Gráfica de comparación de consumos entre los dos sistemas de estudio.

El sistema LED dimerizable dispuesto en la gráfica resultó ser altamente eficiente en términos de consumo energético. Los datos reales que fueron recopilados durante el período de estudio revelaron una reducción significativa en el consumo eléctrico en comparación con el sistema antiguo. Esta mayor eficiencia se traduce en una disminución considerable de los costos de energía, lo que supone un beneficio tanto para la institución educativa como para el medio ambiente.

6.5 Proyección de ahorro al implementar SCAI en bloque A3

Tras evaluar la importancia de implementar el sistema de control automático, y respaldados por datos de consumo eléctrico dentro del aula, se evidenció que sus beneficios no se limitan únicamente a lo energético, sino que también tienen un impacto positivo en el medio ambiente al reducir las emisiones de carbono. Es por estos y otros múltiples beneficios que presentan, que se tomó la decisión de extender el nuevo sistema de iluminación a cada una de las aulas del bloque A3 de la Facultad de Energía.

La proyección se llevó a cabo utilizando el software Dialux, utilizando la herramienta para colocar sensores de luminosidad. En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos con respecto a la cantidad de luminarias, el flujo luminoso nominal, el consumo sin el uso del sensor, y el consumo al implementar un sistema de control.

Tabla 30. Valores obtenidos mediante software Dialux aplicado a cada aula del bloque 3.

Código de aula	Número de aulas por código	Cantidad de luminarias LED	Flujo luminoso nominal (lx)	Cumple con la norma UNE 124641.1	Consumo anual sin sistema de control (kWh/a)	Consumo anual con sistema de control (kWh/a)
Aula A301	1	4	451	Si	328	125
Aula A302	1	4	464	Si	328	61,9
Aula A303	1	3	487	Si	246	53,7
Aulas A304	2	8	382	Si	515	187
Aulas A305	4	4	431	Si	257	24,3

Cabe mencionar que se dispuso aulas tipo (A304 y A305) debido a que comparten dimensiones con aulas ubicadas en una planta superior, por lo que los resultados obtenidos para las mismas también corresponden a sus iguales para un mejor entendimiento de la disposición de las aulas tipo revisar la **Tabla 21**. Además, los resultados específicos pueden ser revisados en el apartado de Anexos.

En el proceso de planificación y toma de decisiones, es fundamental contar con información clara y precisa sobre los costos involucrados en un proyecto, producto o servicio. En esta presentación, se ha elaborado una tabla detallada de costos que refleja en detalle los gastos asociados con la implementación del sistema de control automático de iluminación en el bloque A3. Esta tabla ha sido cuidadosamente desarrollada con el objetivo de brindar una visión completa y transparente de los recursos financieros requeridos para llevar a cabo el proyecto de manera exitosa.

Tabla 31. Equipos necesarios para implementar SCAI en todo el bloque 3 de la facultad de energía.

Equipo	Modelo	Precio Unitario (\$)	Cantidad	Total (\$)
Adaptador AC/AC 110/24 V	Ring doorbell X003DSG15F	20	9	180

Equipo	Modelo	Precio Unitario (\$)	Cantidad	Total (\$)
Adaptador AC/AC 110/12 V	Huawei	5	9	45
Regulador de voltaje	Boss XL6009	3,5	19	66,5
Multisensor 0-10 V econtrols	MS.602000-000	142	19	2 698
Arduino	Arduino Uno R3	20	9	180
Panel LED dimerizable 40W	VELPND45W 60X60	43	43	1 849
Medidor inteligente	EAI-90	41	1	41
Jumpers	-	0,1	200	20
Interruptores de 2 posiciones	-	0,5	20	10
Cable AWG 24	Jurui 24AWGX2C	0,3	100	30
Borneras	-	0,5	20	10
Caja termoplástica	Legrand 180X140X86mm	5	19	95
			Total (\$)	5 224,5
Costo de mano de obra				
	Cantidad de horas		\$/hr	
Ingeniero electromecánico	300		8	2 400
Técnico en electricidad	300		4	1 200
			Total (\$)	3 600
Costo total de SCAI				8 825,5 \$

En el desarrollo y ejecución de cualquier proyecto, el factor humano es un pilar fundamental para el logro de los objetivos. La mano de obra desplegada para llevar a cabo diferentes tareas y actividades, esto juega un papel crítico en la eficacia y el éxito global del proyecto. En esta presentación, se elaboró una tabla detallada sobre el costo de la mano de obra involucrada.

La determinación del costo de mano de obra ha sido realizada considerando valores promedio obtenidos de varios ingenieros y técnicos especializados en el área. El propósito de esta tabla es establecer un estándar de precios para la implementación de este tipo de sistemas, abarcando desde la proyección y elaboración de planos hasta la etapa de implementación y verificación de su correcto funcionamiento. Como el trabajo de titulación aporta al proyecto de renovación del bloque A3 no se busca lucrar por el mismo, si no ofrecer una alternativa para poder ofrecer prácticas profesionalizantes a los alumnos del mismo bloque, así como cursos

sobre electrónica y control, que puede ser un ingreso extra que puede tener la Universidad Nacional de Loja que ayude al retorno de la inversión realizada.

6.5.1 Proyección de ahorro energético

En el ámbito de la gestión energética y la sostenibilidad, conocer los consumos promedio de un edificio con aulas universitarias es esencial para una planificación eficiente y una toma de decisiones informada. A continuación, se elaboró una tabla detallada que muestra los consumos promedio de energía de un edificio que alberga aulas en nuestra universidad.

Es importante resaltar que los datos presentes en la **Tabla 32** no representan los valores reales del bloque, sino más bien un promedio calculado a partir de la carga instalada en el mismo. Los valores mensuales se compararon con un mes promedio de actividades normales, obtenido a partir del sistema de medición instalado en el bloque, el cual recopila los datos de consumo del sistema de iluminación de todo el edificio. No se usaron los datos anuales del sistema de medición debido a que fue recientemente instalado y posee únicamente datos mensuales desde el mes de abril de 2023.

Tabla 32. Consumo anual proyectado mediante potencia instalada del bloque 3.

Código de aula	Número de aulas por código	Luminarias instaladas	Consumo de sistema antiguo				
			Potencia (W)	Horas uso	Consumo diario	Consumo mensual	Consumo año lectivo
Aulas A301	1	8	40	7	2 240	44 800	403 200
Aula A302	1	6	40	7	1 680	33 600	302 400
Aula A303	1	6	40	7	1 680	33 600	302 400
Aula A304	2	40	40	7	11 200	224 000	201 6000
Aula A305	4	64	40	7	17 920	358 400	3 225 600
Total (W/h)					34720	694 400	6 249 600
Total (kWh)					34,72	694,4	6 249,6
Total, en \$							562,464

A continuación, se muestran los valores reales recopilados del mes de julio de 2023 de cada uno de los pisos del edificio, esto se presentó con la finalidad de dar un error porcentual entre los valores proyectados y los valores reales.

Tabla 33. Consumo de bloque 3 medido por software de recopilación de datos Emporia que está conectado a equipo de medición.

Fecha	Consumo (kWh)		
	Piso 1	Piso 2	Piso 3
1/7/2023	0	0,0002	0
2/7/2023	0,130	0,231	0,138
3/7/2023	2,321	9,171	7,413
4/7/2023	1,838	7,973	7,626
5/7/2023	3,464	10,607	12,565
6/7/2023	2,644	10,998	9,659
7/7/2023	1,360	8,903	12,477
8/7/2023	0	8,482	10,525
9/7/2023	0,145	0,549	0,205
10/7/2023	3,623	9,151	6,869
11/7/2023	2,641	8,653	11,015
12/7/2023	3,041	7,706	11,702
13/7/2023	2,421	8,407	7,493
14/7/2023	3,055	8,82	9,936
15/7/2023	0,222	0,299	0,390
16/7/2023	0,225	0,0019	4,067
17/7/2023	2,476	7,164	6,024
18/7/2023	1,963	7,767	7,633
19/7/2023	3,340	7,116	9,119
20/7/2023	3,742	5,906	9,615
21/7/2023	2,629	8,936	7,928
22/7/2023	0	0	0
23/7/2023	0,021	0,150	0,240
24/7/2023	2,204	8,511	9,626
25/7/2023	1,669	9,169	8,312
26/7/2023	2,912	8,408	7,567
27/7/2023	3,636	8,699	10,591
28/7/2023	2,163	7,629	11,306
29/7/2023	0,047	0,203	0,670
30/7/2023	0	0	0
31/7/2023	3,130	7,738	6,519
Total, x piso	57,073	187,359	207,245
Total, mensual		451,677	

Como se puede observar en la **Tabla 33** los valores mensuales están relacionados con los valores proyectados, obteniendo un error porcentual de:

$$Ep = \frac{|451,677 - 562,464|}{451,677} * 100$$

$$Ep = 24 \%$$

El resultado obtenido presenta un margen de error del 24%, lo cual se considera bastante aceptable y no difiere significativamente de los valores reales. Debido a esto, se decidió repetir el análisis utilizando una tabla actualizada con los valores de luminarias LED, sin considerar la dimerización. El propósito de esta actualización fue observar cómo una renovación del sistema de iluminación exclusivamente con tecnología actual puede tener un impacto significativo en el ahorro energético logrado en un bloque de aulas universitarias.

Tabla 34. Consumo de luminarias proyectado de sistema de iluminación LED.

Consumo de luminarias LED							
Código de aula	Número de aulas por código	Luminarias instaladas	Potencia (W)	Horas uso	Consumo diario	Consumo mensual	Consumo año lectivo
Aula A301	1	4	45	7	1 260	25 200	226 800
Aula A302	1	4	45	7	1 260	25 200	226 800
Aula A303	1	3	45	7	945	18 900	170 100
Aula A304	2	16	45	7	5 040	100 800	907 200
Aula A305	4	24	45	7	5 040	100 800	1 360 800
Total (W/h)					13 545	270 900	2 891 700
Total (kWh)					13,545	270,9	2 891,7
Total, en \$							260,25

Observando la **Tabla 35** se puede ver que los valores disminuyen significativamente simplemente al cambiar las luminarias antiguas por LED. A continuación, se calculó el ahorro adicional que se obtendría al implementar el sistema de control automático de luminarias (SCAI).

Tabla 35. Consumo de luminarias proyectado de SCAI.

Consumo de SCAI							
Código de aula	Número de aulas por código	Potencia mínima registrada (W)	Potencia máxima registrada (W)	Horas uso	Consumo diario	Consumo mensual	Consumo año lectivo
Aula A301	1	3	20	7	560	11 200	100 800
Aula A302	1	3	20	7	560	11 200	100 800
Aula A303	1	3	20	7	420	8 400	75 600
Aula A304	2	3	20	7	2240	44 800	403 200
Aula A305	4	3	20	7	2240	44 800	403 200
Total (W/h)					6 020	120 400	1 083 600
Total (kWh)					6,02	120,4	1 083,6
Total, en \$							97,52

Para obtener este valor, se extrapola el porcentaje de ahorro obtenido en un aula de estudio donde se aplicó el SCAI y se obtuvo un 62,29% de ahorro. Los resultados proyectados de estos cálculos se presentan en la **Tabla 36** a continuación, se comparó con el porcentaje de ahorro que tendría al implementar con los valores proyectados para obtener dos posibles soluciones y ver en cuanto difieren las mismas, y se los presenta en la **Tabla 37**.

Tabla 36. Análisis energético de sistema de control implementado a cada aula del bloque 3.

Costo sistema antiguo (kWh)	6 249,6
Porcentaje de ahorro SCAI	62,29%
Consumo con SCAI (kWh)	
proyección porcentual	2 356,72
Ahorro en kWh	3 892,87
Consumo con SCAI (kWh)	
proyección en base a registros	2 891,7

Al realizar un análisis con los datos propuestos por el medidor inteligente proporcionado por el CITE del software Emporia se tuvo la siguiente grafica de consumo en un periodo desde el 01/07/2023 hasta el 31/07/2023, esto permitió tener una visión más amplia del impacto energético del sistema de control automático, de igual manera se presenta el consumo por área de cada una de las aulas tomando en cuenta el sistema antiguo y SCAI.

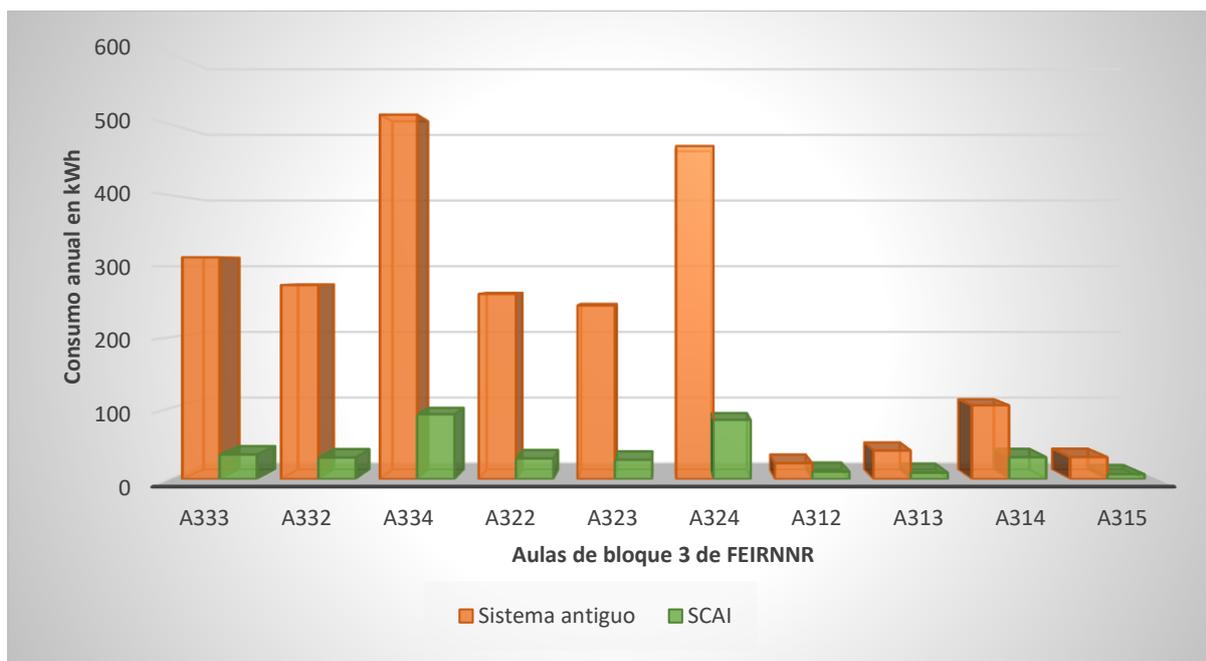


Figura 56. Consumo en aulas de bloque A3 de sistema antiguo vs SCAI

Tabla 37. Consumo por área de sistema antiguo y SCAI en un periodo de 01/07/23 al 31/07/23

Sistema antiguo			
Aula	Área (m ²)	Consumo promedio (kWh)	Consumo por unidad de área [(kWh) /m ²]
A333	44,92	61,666	1,372
A332	44,92	52,179	1,161
A334	67,63	94,732	1,400
A322	44,92	48,653	1,083
A323	44,92	50,822	1,131
A324	67,36	89,690	1,331
A312	27,54	27,561	1,000
A313	45,61	18,239	0,399
A314	32,41	21,137	0,652
A315	27,53	7,991	0,290
SCAI			
Aula	Área (m ²)	Consumo promedio (kWh)	Consumo por unidad de área [(kWh) /m ²]
A333	44,92	23,624	0,525
A332	44,92	19,989	0,445
A334	67,63	36,292	0,536
A322	44,92	18,639	0,414
A323	44,92	19,470	0,433
A324	67,36	34,360	0,510
A312	27,54	10,558	0,383

A313	45,61	6,987	0,153
A314	32,41	8,097	0,249
A315	27,53	3,061	0,111

6.5.2 Proyección de ahorro económico

Para la proyección del ahorro económico, se han planteado dos propuestas. La primera considera únicamente el ahorro en términos de dinero que proporciona el sistema implementado. En cambio, la segunda propuesta incluye no solo el sistema implementado, sino también la oferta de cursos de electrónica y control/domótica. Estos cursos permitirán explicar el funcionamiento del sistema automático y presentar las nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de iluminación en diversos entornos.

El propósito de esta segunda propuesta es doble. Por un lado, se busca fomentar el uso responsable de la energía eléctrica entre los estudiantes. Además, se ofrece la oportunidad de que los estudiantes puedan realizar sus prácticas profesionalizantes, colaborando en la implementación de los sistemas en las distintas aulas del bloque A3. Asimismo, podrán participar en la proyección de nuevos sistemas en los bloques de la facultad de energía.

Mediante esta iniciativa, se busca promover la conciencia energética y el desarrollo de habilidades prácticas entre los estudiantes, lo que contribuirá al ahorro energético y a la eficiencia en el uso de la iluminación dentro de la universidad.

6.5.2.1 Primera propuesta

Tomando la misma metodología utilizada en la **Tabla 38**, se procedió a realizar un análisis económico que consideró los valores de consumo energético. Los cálculos incorporaron el costo por kilovatio hora, como se muestra en la **Tabla 7**, lo que permitió obtener los siguientes resultados.

Tabla 38. Análisis económico de sistema de control automático implementado al bloque 3.

Costo sistema antiguo (\$)	562 464
Porcentaje de ahorro SCAI	62,29%
Costo de SCAI (\$)	212,10
proyección porcentual	
Ahorro (\$)	350,35
Costo de SCAI (\$)	260 253
proyección en base a registros	

Con el siguiente resultado se puede observar que implementando el SCAI en todas las aulas del bloque 3 tendremos un ahorro anual de 350,35 \$ haciendo una proyección con el ahorro porcentual registrado en un aula. Para encontrar la rentabilidad de este sistema

únicamente en función del ahorro energético se estableció los años de vida útil (15) que poseerá el proyecto, el mismo puede aumentar o disminuir en función del uso que se le dé, además se usó el método de VAN y TIR.

Tabla 39. Método de VAN y TIR aplicado a la vida útil del sistema con el ahorro obtenido.

Inversión inicial	-5 224,5
Ahorro año 0	350,35
Ahorro año 1	350,35
Ahorro año 2	350,35
Ahorro año 3	350,35
Ahorro año 4	350,35
Ahorro año 5	350,35
Ahorro año 6	350,35
Ahorro año 7	350,35
Ahorro año 8	350,35
Ahorro año 9	350,35
Ahorro año 10	350,35
Ahorro año 11	350,35
Ahorro año 12	350,35
Ahorro año 13	350,35
Ahorro año 14	350,35
VAN	\$30,88
TIR	-7%

Es evidente que en la **Tabla 39** el sistema de control resulta rentable basándose únicamente en su ahorro. Sin embargo, este valor puede ser modificado en función de promociones por la compra en lotes de los equipos usados o de ofertas al adquirirlos al por mayor. Cabe mencionar que en el análisis no se incluyó el costo de mano de obra para la implementación, ya que se optó por permitir que los alumnos del bloque, que cuentan con los conocimientos necesarios, se encarguen de la instalación como parte de sus prácticas profesionalizantes.

6.5.2.2 Segunda propuesta

Aunque la viabilidad de esta propuesta dependerá de la iniciativa de los directivos de la Facultad de Energía - FEIRNNR, existe una posibilidad real de que pueda llevarse a cabo. La facultad cuenta con docentes con experiencia suficiente para impartir los cursos, además, las mismas instalaciones donde se implementará el sistema podrían ser utilizadas para impartir las clases.

Es importante resaltar las innumerables ventajas que esta propuesta ofrece, tanto desde el punto de vista económico como en el desarrollo estudiantil. La combinación de ambas ventajas hace que la propuesta sea atractiva y beneficiosa para todos los involucrados.

El costo promedio de cursos similares ronda los 70 dólares por alumno, lo cual se considera justo dada la variedad de beneficios que brindan al adquirir experiencia en estos campos. Sin embargo, con el objetivo de considerar la economía de los alumnos y su limitado conocimiento sobre estas tecnologías, se propone un precio reducido de 50 dólares por persona. Este monto cubre los costos de marketing y las herramientas necesarias para que los alumnos obtengan una enriquecedora experiencia en el curso. Asumiendo que al menos 10 alumnos por año optarán por cursar el mismo tendríamos un beneficio de 500 dólares el cual aplicando el método de VAN y TIR tenemos los siguientes resultados.

Tabla 40. Método de VAN y TIR aplicado con la segunda propuesta.

Inversión inicial	-5 224,5
Ahorro año 0	850,35
Ahorro año 1	850,35
Ahorro año 2	850,35
Ahorro año 3	850,35
Ahorro año 4	850,35
Ahorro año 5	850,35
Ahorro año 6	850,35
Ahorro año 7	850,35
Ahorro año 8	850,35
Ahorro año 9	850,35
Ahorro año 10	850,35
Ahorro año 11	850,35
Ahorro año 12	850,35
Ahorro año 13	850,35
Ahorro año 14	850,35
VAN	\$7 530,88
TIR	14%

Con esta nueva iniciativa podemos ver que al final del periodo útil del sistema tendremos una rentabilidad de cerca de 7 530,88 \$ y una tasa de interés de retorno del 14%, el sistema recuperaría la inversión inicial en el quinto año, después de eso solo se reflejarán un ahorro en el presupuesto destinado a pago de energía eléctrica de la Universidad Nacional de Loja.

6.5.2.3 Comparativa entre propuestas.

La siguiente **Tabla 41** busca comparar las distintas propuestas presentas con la finalidad de saber las debilidades y fortalezas y tener una idea clara de el por qué se propusieron estas propuestas. Esto no quiere decir que una sea mejor que la otra solo que tienen distintos enfoques, pero que de igual manera generan un beneficio para la FEIRNNR.

Tabla 41. Análisis comparativo de propuestas económicas de SCAI.

Análisis comparativo		
	Propuesta 1	Propuesta 2
VAN	\$30,98	\$7 530,88
TIR	-7%	14%
Tiempo de retorno de inversión	15 años	6 años
Ayuda en el desarrollo estudiantil	SI	SI

6.5.3 Resumen de consumos de sistema antiguo y SCAI proyectados.

En la siguiente **Tabla 42**, se presentarán los consumos promedio actuales del sistema de iluminación en el bloque 3 de la FEIRNNR, junto con los consumos promedio proyectados al adoptar un sistema de iluminación automática. Esta comparativa se llevó a cabo con el objetivo de analizar de manera más efectiva los beneficios potenciales de la implementación de esta tecnología en las aulas.

Tabla 42. Resumen de valores de consumo mensual de sistemas proyectados en el bloque 3 de la FEIRNNR.

Aula	Consumo mensual			Sistema antiguo	Sistema LED	SCAI
	Sistema antiguo (kWh)	Sistema LED (kWh)	SCAI (kWh)	Consumo por unidad de área (kWh) /m ²	Consumo por unidad de área (kWh) /m ²	Consumo por unidad de área (kWh/m ²)
A333	61,66	26,01	23,62	1,37	0,57	0,52
A332	52,17	22,01	19,98	1,16	0,49	0,44
A334	94,73	42,62	36,29	1,40	0,63	0,53
A322	48,65	20,52	18,63	1,08	0,45	0,41

Aula	Sistema antiguo (kWh)	Sistema LED (kWh)	SCAI (kWh)	Consumo por unidad de área (kWh /m ²)	Consumo por unidad de área (kWh /m ²)	Consumo por unidad de área [(kWh) /m ²]
A323	50,82	21,44	19,47	1,13	0,47	0,43
A324	89,69	40,36	34,36	1,33	0,59	0,51
A312	27,56	18,90	10,55	1,008	0,68	0,38
A313	18,23	10,25	6,98	0,39	0,22	0,15
A314	21,13	15,85	8,09	0,65	0,48	0,24
A315	7,99	4,49	3,06	0,29	0,16	0,11
Total consumo	472,67	181,08	222,49	9,82	4,79	3,76
Total promedio	47,26	18,10	22,24	0,98	0,4796	0,37

Los valores fueron tomados de los medidores inteligentes instalados en el mismo bloque, donde se realizó un cálculo promediado de los consumos que tendríamos al implementar un cambio de luminarias por una tecnología LED, de igual manera se encuentra proyectado para el equipo SCAI. Además, es posible observar el consumo mensual por unidad de área de cada una de las aulas del bloque 3, esto da una amplia visión del beneficio de instalar SCAI o reemplazar el sistema de luminarias por paneles LED. Para tener la información de manera gráfica, se realizó el siguiente diagrama de barras que se lo puede observar en la **Figura 57**.

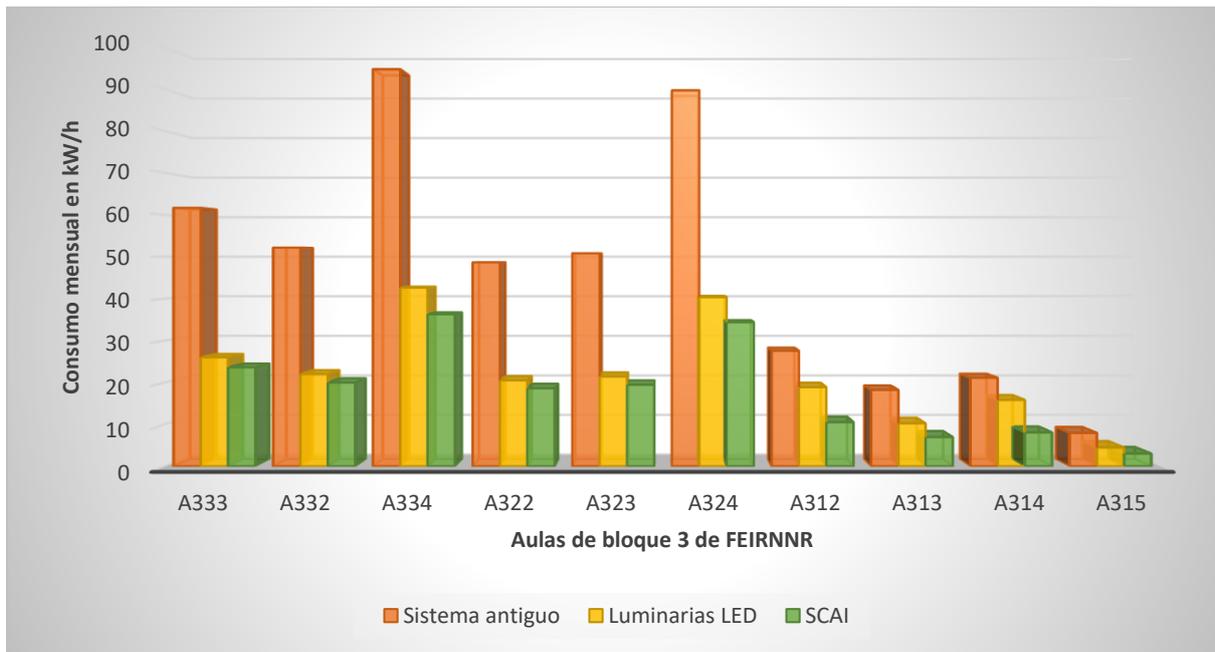


Figura 57. Consumo mensual de los diferentes sistemas presentados.

7. Discusión

Un buen uso de la energía eléctrica y el correcto aprovechamiento de la iluminación natural es clave al momento de instalar sistemas automáticos para el control de luminarias, según (Huaman, 2017): “El cambio climático es una preocupación mundial y todo ahorro es considerado como valioso” (p. 5).

Al momento de iniciar con el proyecto se buscó trazar un camino a seguir para dar cumplimiento al mismo, del cual derivaron en algunos problemas específicos a los cuales se dieron solución. Para argumentar y resaltar los resultados y dar fuerza a los mismos, fueron comparados con diversos proyectos anteriormente realizados tanto dentro del mismo tema de estudio, como análisis realizados en aulas de distintas universidades.

Con la finalidad de dar una mayor solidez a los resultados obtenidos en cuestión al nivel de iluminación que se debe tener dentro de un aula universitaria, se obtuvieron los siguientes resultados donde se puede observar que para el aula A312 es necesario un flujo luminoso mínimo de 9 371,55 lm que corresponden a 300 lx en el plano de trabajo, el valor que se debe tener dentro de un aula para cumplir la norma UNE 12464.1, el mismo valor mínimo se puede observar en la Norma Ecuatoriana de Construcción (2011), para cumplirlo se usó 3 de paneles led dimerizables de 45W que corresponden a 340 lx cuya proyección se obtuvo mediante el software Dialux para respaldar el nivel de iluminación obtenido. Por otro lado, Salinas (2022), utilizando una metodología similar para determinar los niveles de iluminación, obtuvo un flujo luminoso de 321 lx mediante el uso de 3 paneles LED dimerizables de 54W. Por su parte, Sánchez (2022), también utilizando el software Dialux, cumplió un nivel de iluminación aún mayor debido a su criterio, logrando alcanzar un valor de 736 lx con el uso de 6 luminarias de 30W. Aunque la línea base de 500 lx que tuvo Sánchez se cumple, es importante destacar que se incrementa el consumo de energía y las emisiones de CO², lo que podría reducirse utilizando paneles de menor potencia.

Es relevante mencionar la disponibilidad limitada en el mercado nacional de paneles dimerizables, lo que dificulta su adquisición, ya que son tecnologías escasas y pocos proveedores importantes disponen de este tipo de dispositivos. Debido a esto se tuvo que importar varios equipos como lo son; paneles LED dimerizables, driver dimerizable, sensor de movimiento y luminosidad, que son importantes para la construcción de SCAI, teniendo que ser importados de países como España y Colombia, esto presentó atrasos en la implementación del sistema.

Además, es importante saber que el color presente en el aula de clases; amarillo con índice de reflexión de 0,5 a 0,7; influye en el flujo luminoso dentro del aula, debido a que los

colores de tonos claros y neutros reflejan mejor la luz natural y artificial, como, por ejemplo, el blanco con índice de reflexión de 0,75-0,85. Esto significa que se aprovecha de mejor manera el flujo luminoso de las fuentes de luz, para distribuirlo de manera eficiente en el espacio de trabajo. Como resultado, se reducirá el consumo de energía y los costos de electricidad, lo que representa un beneficio económico y medio ambiental.

El segundo problema específico aborda el sistema de control y su implementación. Según los resultados obtenidos, se evidencia que la construcción del sistema se realizó utilizando un sensor de luminosidad para obtener datos. Estos datos se procesan mediante una placa Arduino, que analiza las señales de entrada y genera un valor de salida destinado al control dimerizable del panel. De esta manera, se logra mantener una iluminación de 300 lx para cumplir con las normas establecidas. Salinas (2022) tiene un enfoque similar, utilizando un módulo atenuador PowPak como sistema de control. Aunque este sistema cumple la misma función que la placa Arduino, es más difícil de encontrar en el mercado nacional. Por otro lado, Sánchez (2022) presentó un sistema de control automático basado en horarios. Este sistema enciende y apaga las luminarias mediante sensores de movimiento y luminosidad, utilizando también una placa Arduino para el control. Además, Ruales (2019) presentó un sistema automático de escenas que ajusta el nivel de iluminación según la hora del día. Este control se realiza mediante entradas de sensores de movimiento y luminosidad, conectadas a una tarjeta de control TFT, junto con una placa “real time lock”. Es importante destacar que, si bien este último sistema no controla la atenuación en función de la luz natural, cuenta con un sistema de escenas manual que contribuye al ahorro energético.

En el análisis comparativo de funcionamiento, se obtuvieron resultados que demostraron un ahorro notable con el sistema automático de iluminación en comparación con el sistema antiguo. Durante una jornada académica normal (desde lunes 10 de julio hasta el 21 de julio de 2023), el consumo energético del sistema antiguo fue de 4,73 kWh, mientras que el sistema de control automático solo consumió 1,13 kWh, y mediante mediciones con el software Empria con datos de los medidores inteligentes tenemos un consumo mensual con el sistema antiguo de 27,56 kWh mientras que el SCAI consumió 10,55 kWh, lo que corresponde a un ahorro mensual del 62,29%. Investigaciones anteriores respaldan estas conclusiones. Salinas (2022) desarrolló un sistema de control automático para ventanas en la fachada este, logrando un ahorro del 83,12% en el consumo real del bloque A3. De manera similar, Ruales (2019) implementó un sistema de control automático de iluminación, obteniendo un ahorro del 55,06% en comparación con el sistema de iluminación convencional. Además, Portocarrero (2017) aplicó el protocolo DALI para controlar las luminarias, logrando un ahorro del 41,78%.

Este valor incrementa a medida que se reduce el tiempo de retorno de inversión, llegando a 56,66% en comparación con el sistema obsoleto de iluminación. A pesar de que los resultados pueden variar según el área de iluminación, en general, se observarán ahorros significativos. Cabe destacar que el sistema centralizado permite controlar las luminarias desde una computadora central, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa. Sin embargo, es importante mencionar que, actualmente, el protocolo DALI no puede ser implementado debido a que en el mercado nacional no existe oferta de estos equipos.

Finalmente, se llevó a cabo una proyección del sistema aplicado al bloque 3 de la facultad de energía, y se aplicaron los métodos del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Es evidente que, con una vida útil de 15 años, el sistema por sí mismo es capaz de ser rentable dentro de su ciclo de vida, donde al final de su ciclo vital se pagaría el costo inicial de inversión y se tendría un ahorro de 30,88 \$. De manera adicional, se propuso la implementación de un curso que abordara el funcionamiento y diversas aplicaciones del sistema, lo que contribuiría a mejorar su rentabilidad. Mediante esta estrategia se obtuvieron los siguientes resultados donde se logró que la inversión inicial de \$5 224,5 sea recuperada en tan solo 6 años, a partir de los cuales se proyectan ahorros cercanos a \$7 530,88 y una Tasa Interna de Retorno del 14%. En contraste, Salinas (2022) presentó una proyección similar para el bloque 3, encontrando que la inversión no se recupera en el primer ciclo de vida proyectado, sino que la recuperación ocurre en el segundo ciclo, a los 7 años, con ahorros de \$5 647,84% y una TIR del 18%. Esta variación puede ser atribuida a la inclusión de un sistema de ventanales en la fachada este del bloque 3 en su proyecto, lo que conlleva un mayor costo. Por otro lado, Portocarrero (2017) trabajó en un proyecto de control de luminarias para una planta de operaciones, utilizando el protocolo de control DALI, con un costo de implementación de S/237 447,61 o su equivalente en dólares, \$64 539,02, logró un retorno de la inversión en 6 años y 3 meses. Estas diferencias de valores se deben a las divergencias en el costo de consumo eléctrico y las regulaciones en el país vecino Perú. De manera similar, Ruales (2019) implementó un sistema de escenas con un costo de \$1 600 por aula. En este caso, la recuperación de la inversión inicial se logró después de 4 años y 11 meses. Aunque los tiempos de recuperación varían entre estos diferentes sistemas, su utilización y mantenimiento dependen en gran medida de la vida útil, lo que puede acortar o prolongar el período de recuperación de la inversión. No obstante, es esencial resaltar que la implementación de estos sistemas no solo busca lograr rentabilidad económica, sino también concienciar sobre la importancia de los sistemas que mejoran la eficiencia en la iluminación. Esta concienciación tiene un impacto positivo en la preservación del medio ambiente y sus recursos.

8. Conclusiones

Los resultados de la investigación demuestran que para alcanzar el nivel de iluminación de 300 lx en el aula A312, se requieren 3 paneles LED dimerizables de 45W, esto se respaldada con los resultados del software Dialux. En conclusión, los resultados obtenidos respaldan la eficacia de la implementación del sistema de control mediante una placa Arduino y sensores de luminosidad como una solución efectiva para mantener una iluminación constante de 300 lx, en conformidad con las normas establecidas.

El análisis comparativo realizado revela que la implementación del sistema automático de iluminación conlleva un significativo ahorro del 62,29% durante una jornada académica normal en comparación con el sistema antiguo. Investigaciones previas también apoyan estas conclusiones al demostrar que otros sistemas de control automático han logrado ahorros sustanciales en el consumo energético. El proyecto resalta la necesidad de una mayor inversión en investigación y desarrollo de tecnologías de control de iluminación eficientes y su disponibilidad en el mercado local, con el objetivo de maximizar los ahorros energéticos y contribuir a una mayor sostenibilidad en el ámbito de la iluminación.

Los diversos casos estudiados en la implementación de sistemas de iluminación eficiente demuestran la variabilidad en los resultados financieros y temporales. Cada proyecto presenta características únicas. Estos factores influyen en los tiempos de recuperación de inversión, lo que subraya la importancia de adaptar las estrategias a las circunstancias específicas. Además de la rentabilidad económica, es evidente que todos estos proyectos comparten un propósito común, el de concienciar sobre la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente, lo que refleja una tendencia hacia una mayor responsabilidad ambiental en el ámbito de la iluminación.

El análisis de los sistemas de iluminación y su automatización proporciona una perspectiva más clara sobre la distribución del consumo energético en relación con el área que están iluminando. Como se pudo observar, los sistemas de iluminación fluorescente más antiguos presentan consumos elevados, registrando una cifra de 9,82 kWh/m², en contraste con las tecnologías actuales como los sistemas LED, que consumen solo 4,79 kWh/m², y los sistemas automáticos, que son aún más eficientes con tan solo 3,76 kWh/m². Este fenómeno se debe en gran medida a la considerable pérdida de energía en forma de calor como subproducto en los sistemas tradicionales, lo que resulta en una eficiencia energética relativamente baja. El cambio generacional en estos sistemas no solo se ha convertido en una mejora lujosa para los entornos, sino que también representa un ahorro energético significativo y un beneficio para el medio ambiente.

9. Recomendaciones

- Se recomienda comparar los resultados matemáticos con software especializado (Dialux) para obtener niveles de iluminación. Esto para obtener una visión más completa de los posibles resultados y configuraciones disponibles.
- Cambiar el color presente en cada una de las aulas del bloque A3 por un color con un mayor índice de reflexión como lo puede ser el color blanco.
- Aunque el algoritmo y la ubicación de los sensores no siguen una norma fija, se sugiere adaptarlos a las necesidades específicas de cada aula.
- Antes de implementar el sistema de control automático, es fundamental contar con el diagrama eléctrico del aula para identificar los puntos donde el sistema puede ser energizado adecuadamente.
- Dado que varios de los equipos necesarios para el sistema deben ser importados de otros países como España, Colombia y Estados Unidos, se recomienda realizar las compras con anticipación para evitar demoras en la implementación.
- Para obtener resultados precisos de iluminación en las aulas, se sugiere utilizar un Luxómetro.
- En varios casos la iluminación natural puede llegar a ser muy alta por lo que afecta el confort térmico y deslumbramiento por lo que es recomendable la instalación de un sistema de cortinas automáticas en función de la iluminación presente en el ambiente o bien la instalación de un “Smart glass” en cada uno de los ventanales.

10. Bibliografía

- Arévalo, W. (31 de Enero de 2022). *Repositorio de la Escuela Politecnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22111/1/CD%2011605.pdf>
- Bellavista. (17 de 04 de 2016). *Repositorio del IES Bellavista*. Obtenido de <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/iesbellavista/files/2016/04/SENSOR-DE-MOVIMIENTO-PIR.pdf>
- Beltrán, H. (2015). *Módulo 1.5 –Luminarias: clasificaciones, tipos y aplicaciones*. Obtenido de https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificaciones.pdf?sequence=1
- Blanca, V., Castilla, N., Crtez, J., Martinez, A., & Pastor, R. (2009). *Repositorio de la Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7556/AD_calculo_metodo_punto_por_punto.pdf
- Bolaños. (11 de 11 de 2010). *Fotodiodo*. Obtenido de <https://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/SENSORESOPHTICOS.PDF>
- Caiza, A. (Febrero de 2009). *Repositorio de la Escuela Politecnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1446/1/CD-2129.pdf>
- Castilla, N., Blanca, V., Martinez, A., & Pastor, R. (2011). *Repositorio de la Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C%C3%A1culo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20l%C3%BAmenes.pdf>
- Cruz, J. (1996). *Fundamentos sobre ahorro de energía*. Uady. Obtenido de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=ahorro+de+energ%C3%ADa&oq=ahorro+de+e#d=gs_cit&t=1679517197890&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3A80tl-ef--3AJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des
- DIEEC. (2011). *UNED*. Obtenido de http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf
- Dominguez, H., & Sáez, F. (Junio de 2006). *DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS TELEMÁTICOS*. Obtenido de https://www.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_domotica.pdf

Drake, J. (2005). *Repositorio de la Escuela Politecnica Nacional*. Obtenido de https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_6.pdf

ecolightins, V. (02 de Septiembre de 2018). *Laumayer Ec*. Obtenido de [file:///C:/Users/josma/Downloads/VEL0119-VEL0120%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/josma/Downloads/VEL0119-VEL0120%20(3).pdf)

e-controls. (04 de 09 de 2012). *Electronic Intelligent Controls*. Obtenido de <https://www.e-controls.es/sites/default/files/ms.602000-000---e-multisensor-0-10v-ddssp-425.pdf>

ElectronicaSMD. (2005). *ElectronicaSMD*. Obtenido de <file:///C:/Users/josma/Downloads/HPR120.pdf>

ElectroSertec. (02 de 02 de 2016). *Tecnología de iluminación LED*. Obtenido de http://electrosertec.com/img/cms/TECNOLOGIA_ILUMINACION_LED.pdf

eMylo. (21 de Junio de 2021). *eMylo*. Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/stores/eMylo/page/049A639F-FB7D-497B-83A3-EA76CED76610?ref_=ast_bln

Espinosa, P. Á. (17 de 12 de 2016). *Repositorio de la Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75442/ILUMINACION__GIE-3__2en1.pdf

Fernández, M. (2014). *Repositorio de la Universidad de Cadiz*. Obtenido de https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/16834/tema04_senales.pdf?sequence=1

Fluke. (02 de Febrero de 2016). *Conceptos básicos de las pinzas amperimétricas*. Obtenido de <https://www.redeweb.com/ficheros/articulos/p68a72.pdf>

García, M. (21 de 11 de 2016). *Ministerio de Empleo y Seguridad Social España*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50461802/IluminacionPuestosTrabajoN-libre.pdf?1479757626=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DILUMINACION_EN_EL_PUESTO_DE_TRABAJO_CRIT.pdf&Expires=1683758174&Signature=T43H~a31fPNYDTwR5C1I1tjC~N0hO91GTno

Gonzales, P. (Febrero de 2006). *Imagium*. Obtenido de <http://lsi.vc.ehu.es/pablogn/investig/dom%C3%B3tica/preguntas.pdf>

Gozalo, D. (2017). *Repositorio de la Universidad de Valladolid*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25609/TFG-G2380.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

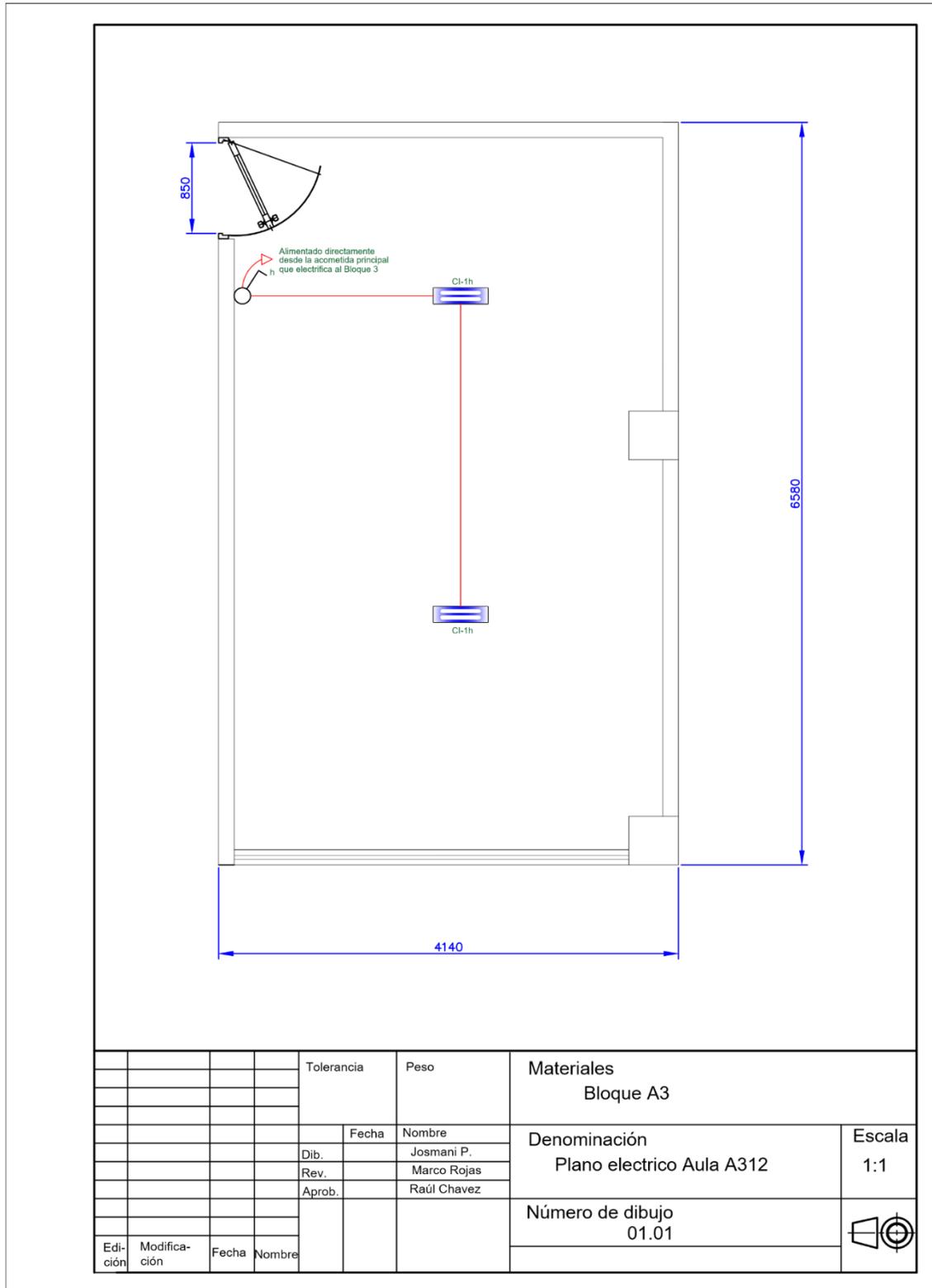
Herrera, L. (Mayo de 2005). *SCielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092005000200006&script=sci_arttext

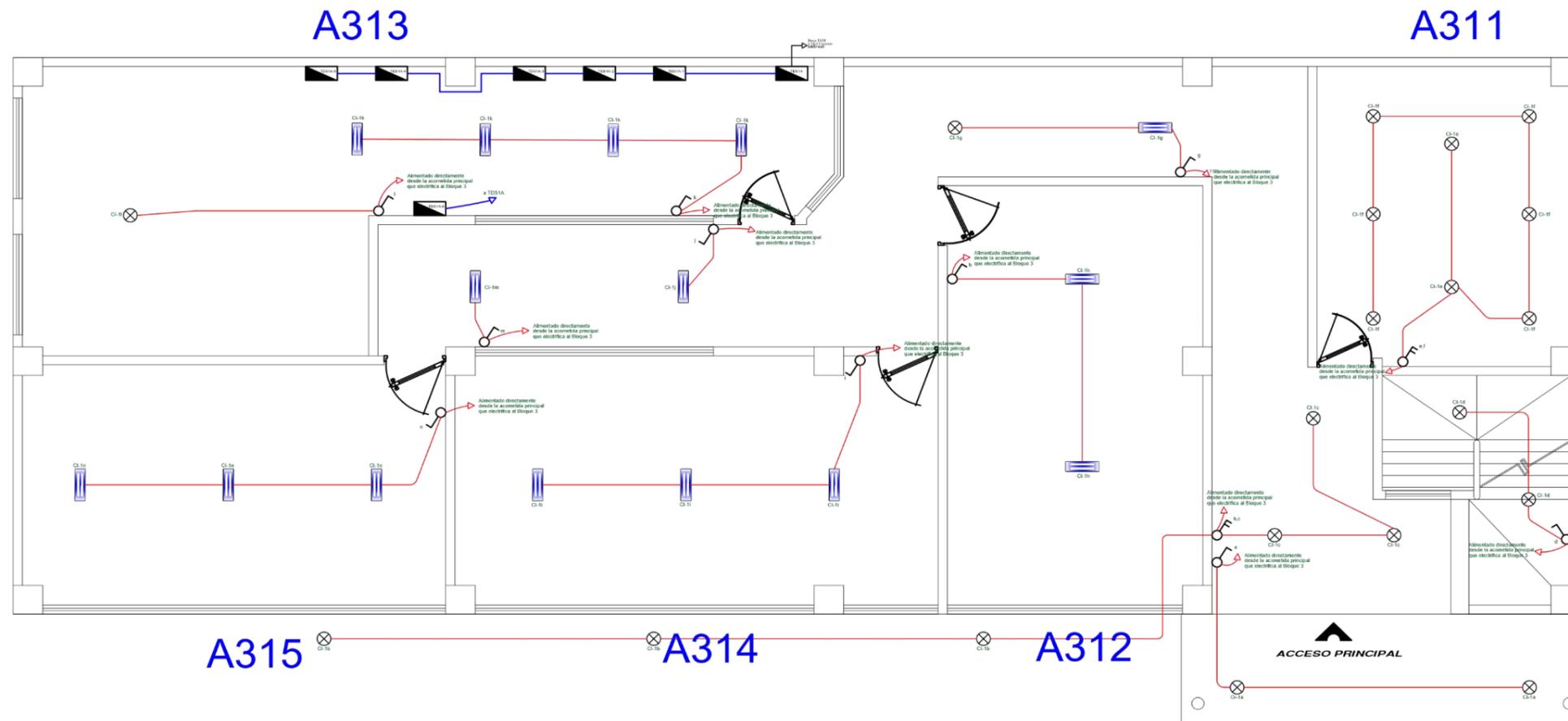
- Huaman, J. (04 de 2017). *Repositorio de la Universidad de Piura* . Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2897/MAS_IME_AUT_019.pdf?sequence=1
- INSHT. (Diciembre de 2015). *Ministerio de empleo y seguridad social de España*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/96076/Iluminacion+en+el+puesto+de+trabajo/9f9299b8-ec3c-449e-81af-2f178848fd0a>
- León, A. J. (2007). *Document library manager de la AIU*. Obtenido de <https://www.aiu.edu/applications/documentlibrarymanager/upload/lighting.pdf>
- MHEducation. (16 de 02 de 2010). *Unidad 8: Luminotecnia* . Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171721.pdf>
- Miranda, L. (09 de 2009). *Sistema mecatrónico para cobertores de piscina o secado de grano*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1791/1/CD-2399.pdf>
- Miyara, F. (2004). *Repositorio de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/da-ad.pdf>
- Moreno, A., & Córcoles, S. (10 de 08 de 2017). *Aprende Arduino*. Obtenido de <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/Arduinounfinseman.pdf>
- NEC. (2011). *Entidad Colaboradora de Proyectos ECP*. Obtenido de <https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2023/01/NECINSTALACIONESELECTROMECHANICAS2013.pdf>
- NOM-025-STPS. (30 de Diciembre de 2008). Obtenido de <https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-025.pdf>
- PCE. (15 de Enero de 2015). *PCE Instrumentes*. Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/manuales/manual-luxometro-pce-174-nuevo.pdf>
- Peralta, J., Romero, W., & Toledo, J. (2007). *Repositorio de la UNL*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18174/1/Peralta%20Jaramillo%20c%20Jos%c3%a9%20Luis%20Romero%20D%c3%adaz%20Wilson%20Toledo%20Ponce%20Juan%20Pablo%20.pdf>
- Portocarrero, C. (2017). *Repositorio de la Universidad Tecnológica de Peru*. Obtenido de file:///C:/Users/josma/Downloads/Cesar_Portocarrero_Trabajo_de_Suficiencia_Profesional_Titulo_Profesional_2017_2.pdf
- Puga, M. (2019). *Repositorio de la Universidad Arturo Prat*. Obtenido de http://accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/valor-actual-neto-y-tasa-interna-de-retorno-van-y-tir_1563977885.pdf

- Rincón, C. A. (2017). *Repositorio de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6046/Mu%c3%b1ozRomer%20JavierAndr%c3%a9s2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruales, B. (2019). *Repositorio de la Escuela Politecnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20894/1/CD%2010414.pdf>
- Sanchez, L. (14 de 12 de 2022). *Sistema de iluminacion LED*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25972>
- Sandoya, A., Chica, L., Ordoñez, G., & Arias, J. (02 de 2018). *NEC, Norma Ecuatoriana de Construcción*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SB-Instalaciones-Electricas.pdf>
- Signify. (26 de 05 de 2023). *Philips*. Obtenido de https://www.lighting.philips.es/api/assets/v1/file/PhilipsLighting/content/comf2522-pss-es_es/LP_CF_TL5HEECO_EU.es_ES.PROF.CF.pdf
- Solectro. (24 de 11 de 2020). *Curso de raspberry*. Obtenido de <https://solectroshop.com/img/cms/Productos%20DICIEMBRE/Gu%C3%ADa%20de%20Raspberry%20Pi%20desde%20cero%20-%20Solectro.pdf>
- SPEE. (2021). *DIRECCIÓN DE REGULACIÓN ECONÓMICA Y TARIFAS DEL SECTOR ELÉCTRICO*. Obtenido de https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/Anexo_1_pliego_tarifario_spee_2021.pdf
- Texasinstruments. (2023). *Electronilab*. Obtenido de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- Tomas, D. (2016). *Ambito científico diversificación curricular*. Obtenido de https://www.mclibre.org/otros/daniel_tomas/diversificacion/matematicas/Calculo_de_errores.pdf
- Valdiosera, A. (Diciembre de 2013). *Repositorio del Instituto Politecnico Nacional de Mexico*. Obtenido de <https://sepielectrica.esimez.ipn.mx/Tesis/2013/Diseno%20de%20medidor.pdf>

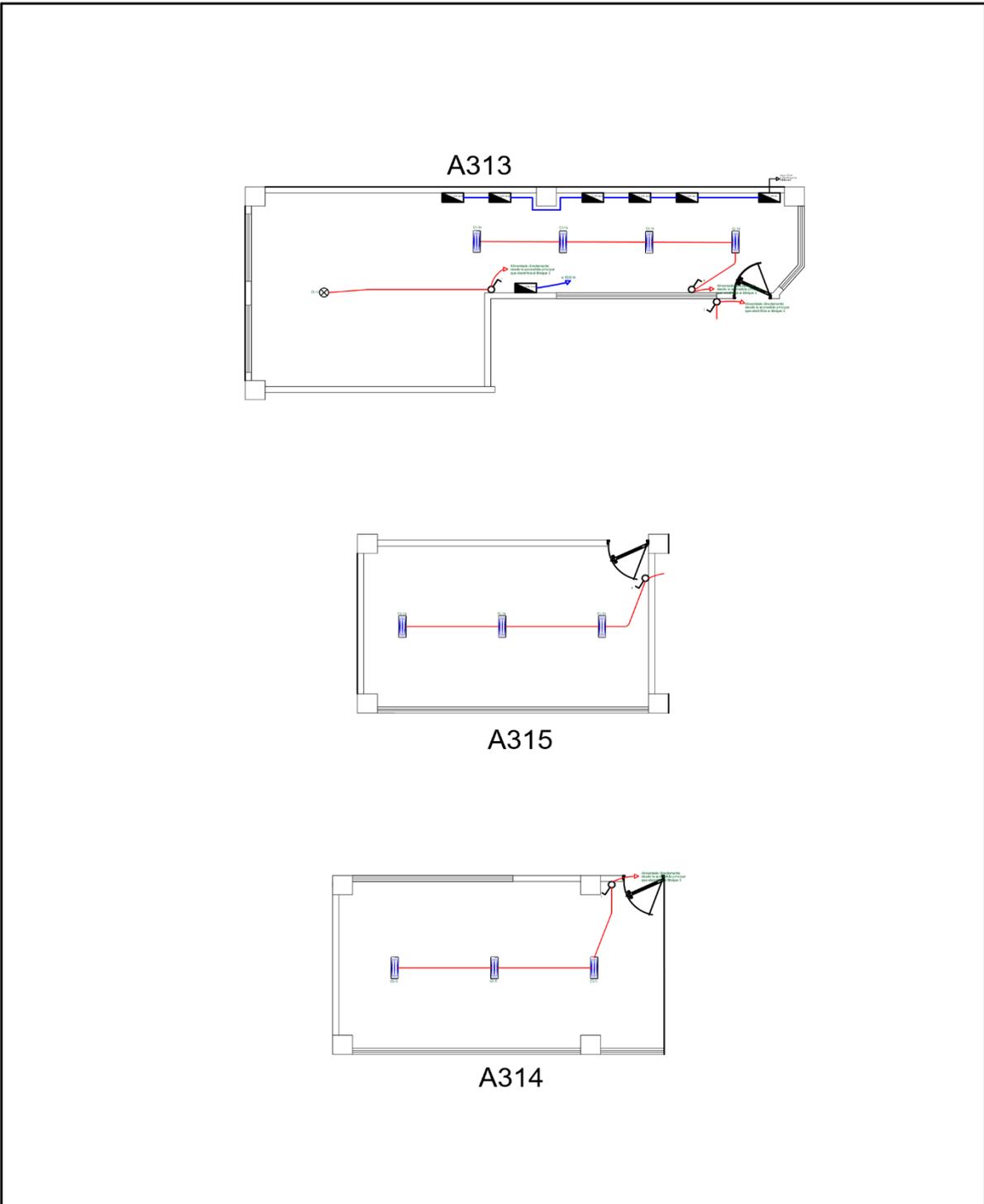
11. Anexos

Anexo 1. Planos y circuitos eléctricos del sistema de control automático de iluminación.



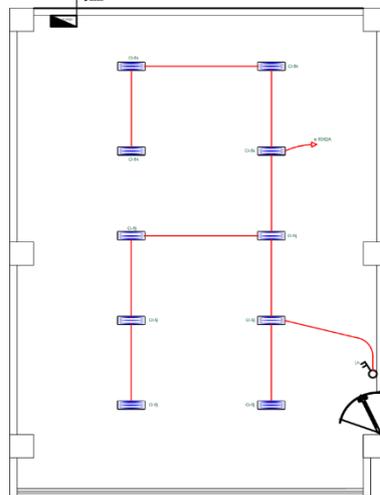


					Tolerancia	Peso	Materiales	
						453g	Bloque A3	
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
					Dib.	Josmani P.	Diagrama eléctrico planta baja A3	1:1
					Rev.	Marco Rojas		
					Aprob.	Raúl Chavez		
							Número de dibujo	
							01.02	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre					

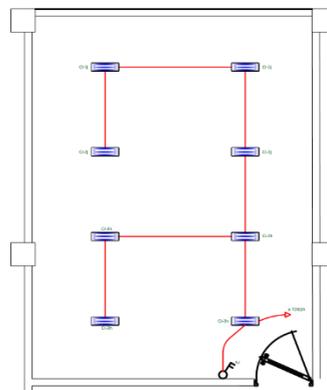


				Tolerancia	Peso	Materiales Bloque A3	
						Denominación Plano electrico Aulas planta baja	Escala 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib.	Josmani Pacheco		
				Rev.	Marco Rojas	Número de dibujo 01.03	
				Aprob.	Raúl Chavez		
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre				

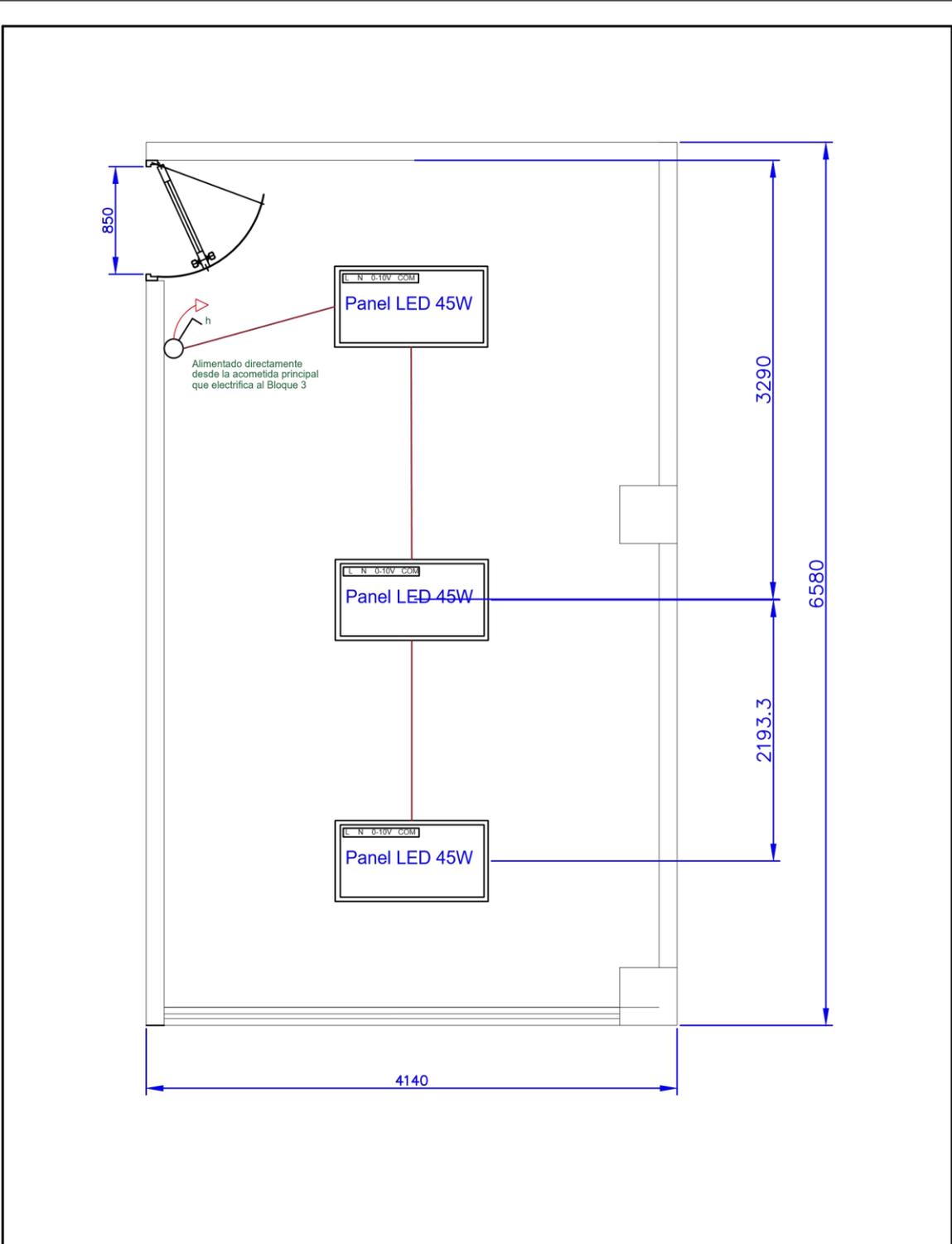
A324



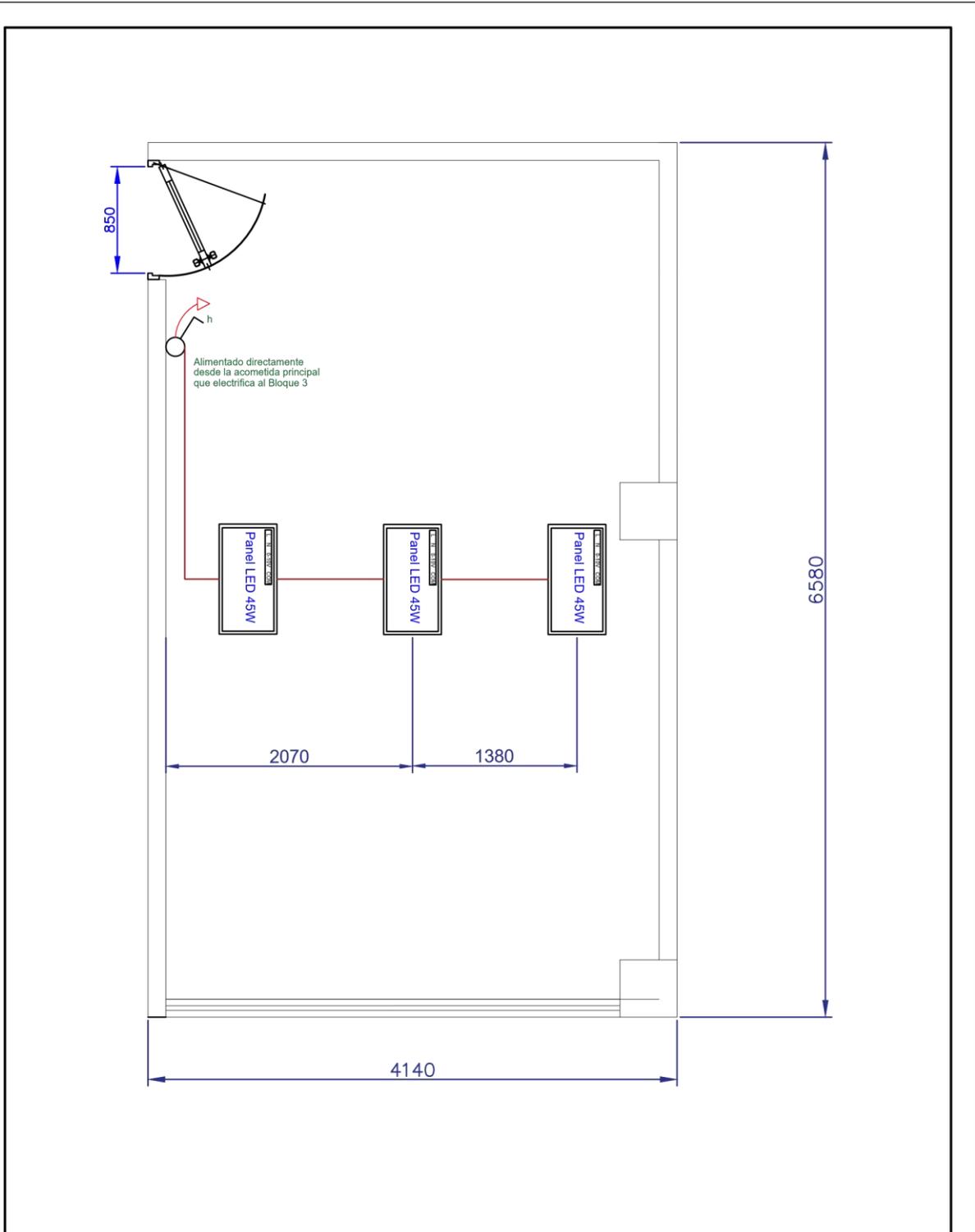
A323



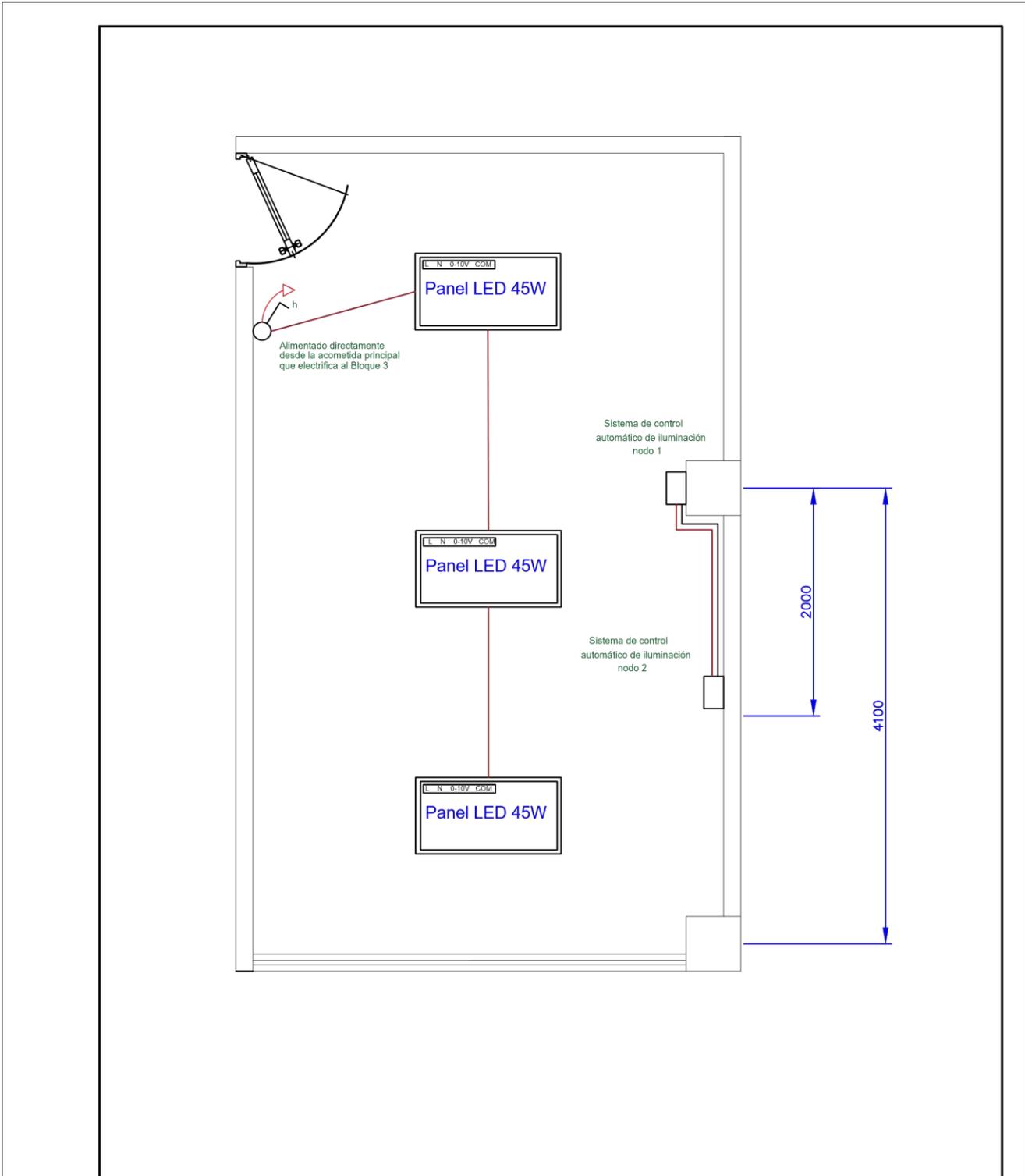
					Tolerancia	Peso	Materiales	
							Bloque A3	
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.		Josmani Pacheco		
				Rev.		Marco Rojas		
					Aprob.	Raúl Chavez	Plano electrico Aulas tipo A304 y A305	1:1
							Número de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				01.04	



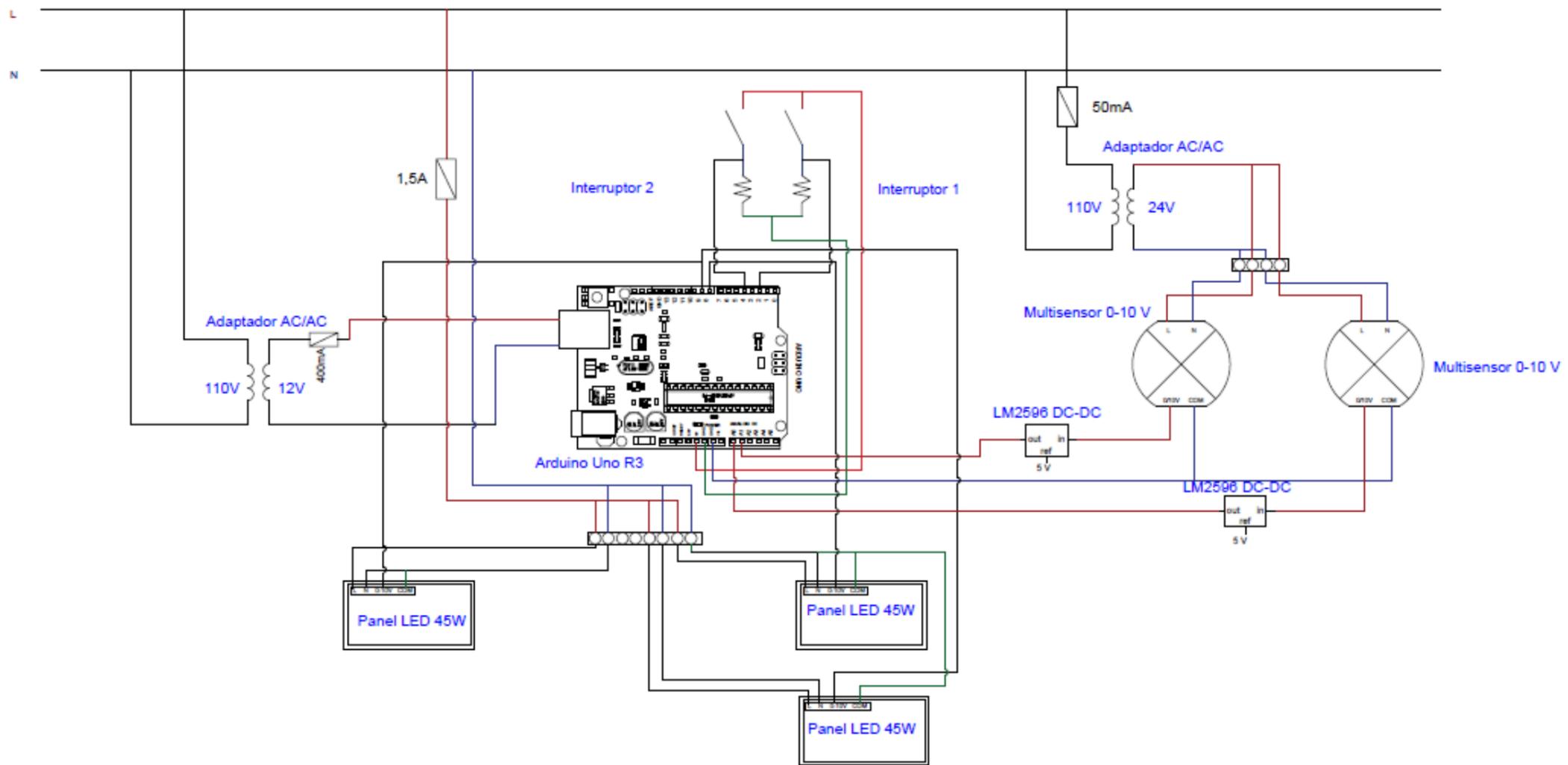
				Tolerancia	Peso	Materiales Bloque A3	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala 1:1
				Dib.	Josmani Pacheco		
				Rev.	Marco Rojas		
				Aprob.	Raúl Chavez		
						Número de dibujo 01.05	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	Peso	Materiales Bloque A3	Escala 1:1
				Fecha	Nombre	Denominación Emplazamiento de luminarias configuración 2	Escala 1:1
				Dib.	Josmani Pacheco		
				Rev.	Marco Rojas		
				Aprob.	Raúl Chavez	Número de dibujo 01.06	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	Peso	Materiales Bloque A3	
						Denominación Emplazamiento de SCAI	Escala 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib.	Josmani Pacheco		
				Rev.	Marco Rojas		
				Aprob.	Raúl Chavez	Número de dibujo 01.07	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	Peso	Materiales	
						Bloque A3	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	Joemani P.	Sistema eléctrico de SCAI	1:0.7
				Rev.	Marco Rojas		
				Aprob.	Raul Chavez		
						Número de dibujo	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nombre			01.08	

Anexo 2. Fichas técnicas de los equipos usados.



Arduino® UNO R3

Product Reference Manual

SKU: A000066



Description

The Arduino UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile development board is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor.

This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

Target areas:

Maker, introduction, industries



Features

- **ATMega328P Processor**
 - **Memory**
 - AVR CPU at up to 16 MHz
 - 32KB Flash
 - 2KB SRAM
 - 1KB EEPROM
 - **Security**
 - Power On Reset (POR)
 - Brown Out Detection (BOD)
 - **Peripherals**
 - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
 - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
 - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
 - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
 - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
 - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
 - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
 - Six PWM channels
 - Interrupt and wake-up on pin change
- **ATMega16U2 Processor**
 - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
- **Memory**
 - 16 KB ISP Flash
 - 512B EEPROM
 - 512B SRAM
 - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
- **Power**
 - 2.7-5.5 volts



1 The Board

1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO as a tool for education purposes or industry-related tasks, the UNO is likely to meet your needs.

First entry to electronics: If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; Arduino UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

Industry-standard development board: Using the Arduino UNO R3 board in industries, there are a range of companies using the UNO board as the brain for their PLC's.

Education purposes: Although the UNO R3 board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

1.2 Related Products

- Starter Kit
- Arduino UNO R4 Minima
- Arduino UNO R4 WiFi
- Tinkerkit Braccio Robot

2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40°F)	85 °C (185°F)

NOTE: In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected.



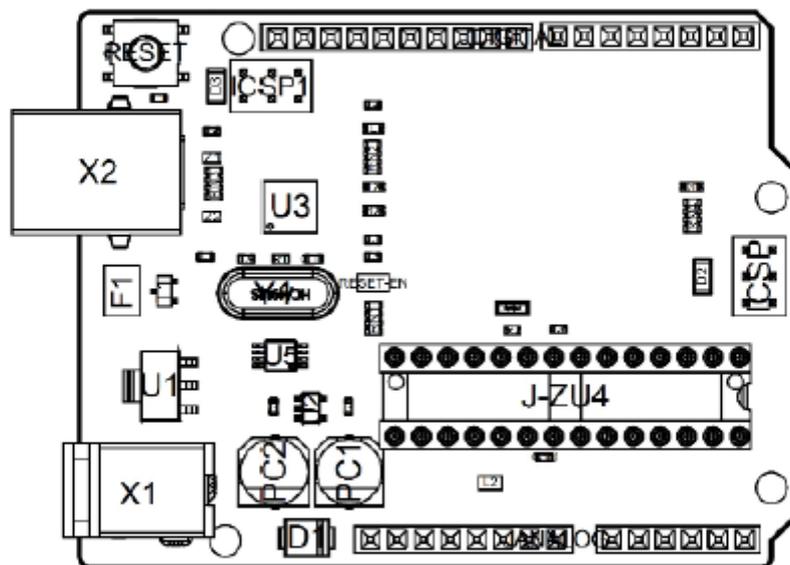
2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector		-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

3 Functional Overview

3.1 Board Topology

Top view



Board topology

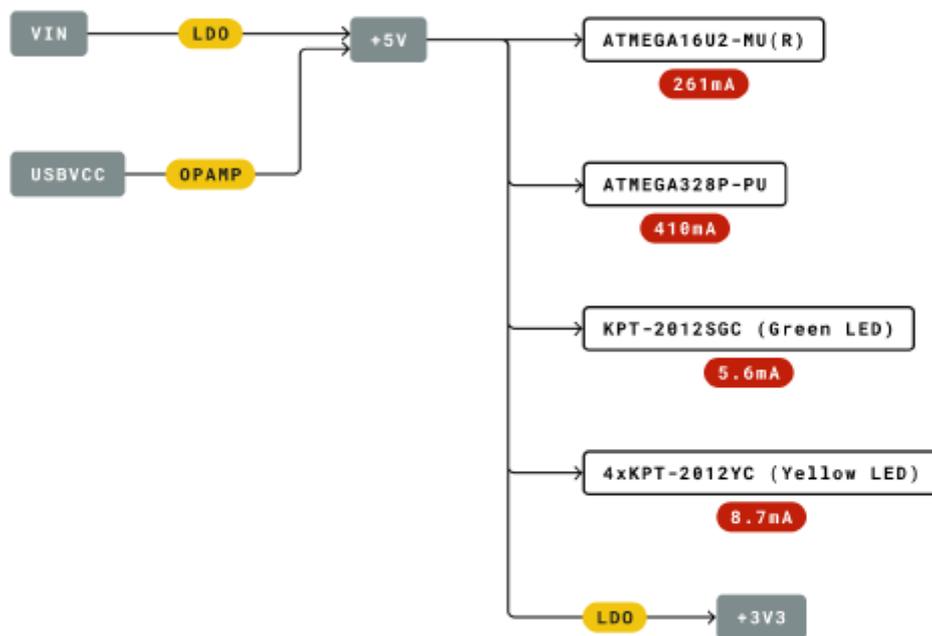
Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		



3.2 Processor

The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.

3.3 Power Tree



Legend:

- Component
- Power I/O
- Conversion Type
- Max Current
- Voltage Range

Power tree



4 Board Operation

4.1 Getting Started - IDE

If you want to program your Arduino UNO R3 while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the Arduino UNO to your computer, you'll need a USB-B cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

4.2 Getting Started - Arduino Web Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Web Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

4.3 Sample Sketches

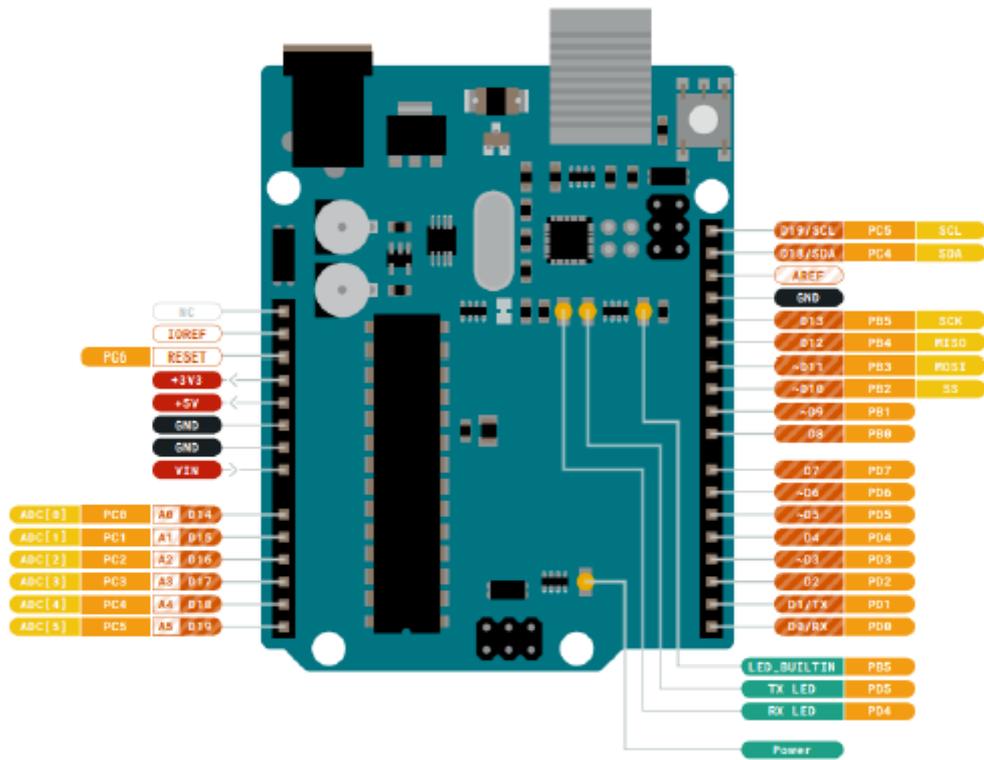
Sample sketches for the Arduino UNO R3 can be found either in the "Examples" menu in the Arduino IDE or in the "Documentation" section of the Arduino website [4]

4.4 Online Resources

Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on Arduino Project Hub [5], the Arduino Library Reference [6] and the online Arduino store [7] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more.



5 Connector Pinouts



Pinout



5.1 JANALOG

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

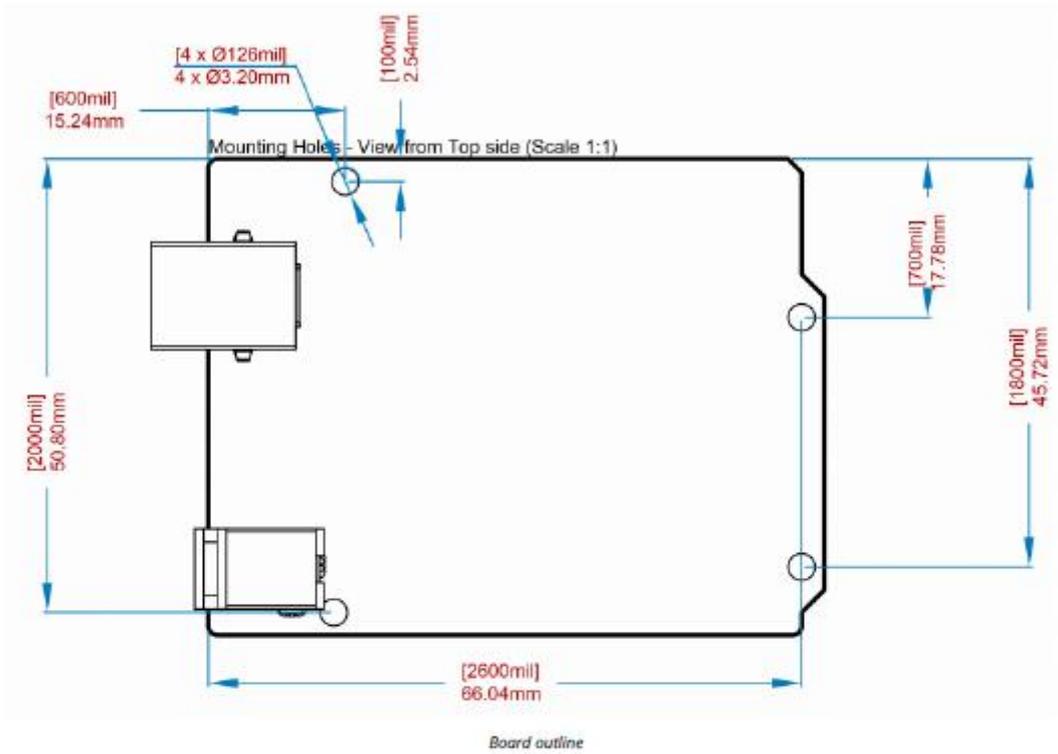
5.2 JDIGITAL

Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)



5.3 Mechanical Information

5.4 Board Outline & Mounting Holes





6 Certifications

6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

ROHS 2 Directive 2011/65/EU	
Conforms to:	EN50581:2012
Directive 2014/35/EU, (LVD)	
Conforms to:	EN 60950-1:2006/A11:2009/A1:2010/A12:2011/AC:2011
Directive 2004/40/EC & 2008/46/EC & 2013/35/EU, EMF	
Conforms to:	EN 62311:2008

6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions: No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.



6.3 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

7 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

FCC RF Radiation Exposure Statement:

1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for license-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada license-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l'appareil n' doit pas produire de brouillage
- (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

IC SAR Warning:

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.

French: Lors de l' installation et de l' exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d' au moins 20 cm.



Important: The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 2014/53/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

8 Company Information

Company name	Arduino S.r.l
Company Address	Via Andrea Appiani 25 20900 MONZA Italy

9 Reference Documentation

Reference	Link
Arduino IDE (Desktop)	https://www.arduino.cc/en/Main/Software
Arduino IDE (Cloud)	https://create.arduino.cc/editor
Cloud IDE Getting Started	https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a
Arduino Website	https://www.arduino.cc/
Project Hub	https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&part_id=11332&sort=trending
Library Reference	https://www.arduino.cc/reference/en/
Online Store	https://store.arduino.cc/

10 Revision History

Date	Revision	Changes
26/07/2023	2	General Update
06/2021	1	Datasheet release



Presentación del Producto

Premium, esa es la palabra perfecta para definir uno de los pocos modelos que son diseñados con materiales de larga duración como el PMMA en su película transmisora de luz (LGP), que evita el "yellowing" o amarilleo, aluminio como material de disipación térmica, con un grado de protección IP 40 que evita al mínimo la entrada de partículas en el difusor y por último 50,000hrs@L70 de vida útil.



Aplicaciones

- Comercial
- Bibliotecas
- Oficinas
- Espacios Cowork



Componentes

- LEDs: Sanan
- Housing: Aluminio
- LGP: PMMA



Especificaciones



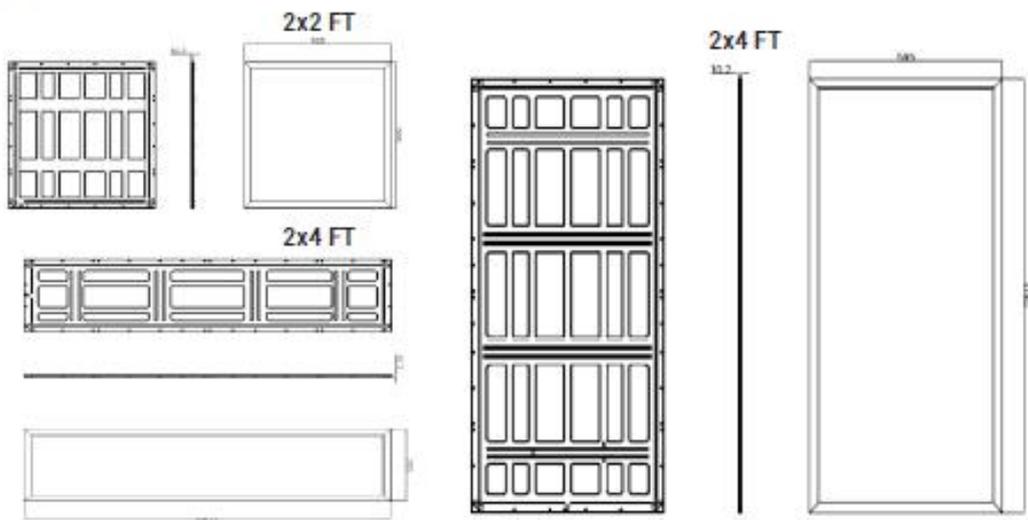
LED SMD	SANAN
Voltaje	AC100-277V 50/60Hz Magic Driver
Factor de Potencia	≥0.9
Armónicos THD	<20%
Potencia (W)	40 (2x2-1x4)/50(2x4)
Eficiencia (LPW)	>115 lm/W
Flujo Luminoso (Lm)	4.600/4.750/6.250
Temperatura de color (K)	4000/5000
IRC	Ra≥80
Ángulo apertura	120°
Temperatura de operación	-20°C ~ 40°C
Humedad relativa	10% ~ 90% RH
Vida útil	50.000 Hrs@L70@25°C
Chasis	Aluminio
Difusor	PMMA
Grado de Protección IP	IP40
Resistencia al impacto IK	IK05
Dimensiones (mm)	595*595/1195*295/595*1195 mm
Garantía limitada*	5 años* (DPS)



Nota: estos valores pueden tener una variación del ±10%.



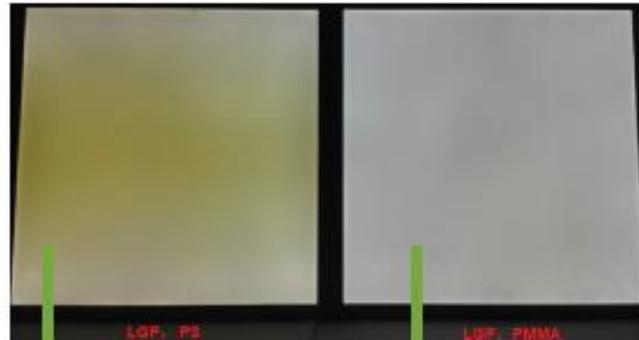
Dimensiones



Colombia - Panamá - Ecuador | www.laumayer.com | info@laumayer.com



Diferencias entre LGP PS y PMMA



Yellowing o Amarilleo

Estabilidad UV



Interior



Protección del LED



Central alignment of LED Light Source and LGP (Light Guide Plate)

e-Multisensor 0-10V

Detector de movimiento y sensor de luminosidad
para aplicaciones de ahorro energético con sistemas de control
Referencia de producto: MS.602000-000

e-Multisensor 0-10V es un multisensor para montaje en techo diseñado para aplicaciones de ahorro energético en interior de edificios, que incluye un sensor de movimiento de alta sensibilidad para detección de ocupación y un sensor de luminosidad para medida de luminosidad.

El producto está pensado para activar o desactivar automáticamente las luces y la climatización en función de la ocupación en la zona, y proporciona el nivel de luminosidad aportado por la luz natural incidente en el edificio y la luz artificial aportada por las luminarias.

Descripción del producto

e-Multisensor 0-10V es un producto basado en un preciso sensor de movimiento que permite detectar la ocupación de personas en movimiento en su área de detección, proporcionando una señal de ocupación que permite actuar directamente o a través de un sistema de control sobre la iluminación y climatización, con el objetivo de activar/desactivar su estado automáticamente. El equipo también incluye un sensor de luminosidad que mide el nivel de luz de la zona y proporciona su valor a través de una salida analógica para su gestión a través de un sistema de control.

La señal de ocupación del sensor de movimiento es digital tipo relé libre de potencial que dispone de terminales NA/C/NC y que cambia de estado cuando se detecta movimiento en la zona, permaneciendo en ese estado hasta que expira un

tiempo predefinido ajustable por el instalador. El tiempo de permanencia puede ajustarse entre 1 segundo y 50 minutos, y la resolución de la escala de tiempo depende de la posición del potenciómetro (ver características técnicas).

La señal analógica del sensor de luminosidad es una salida de tensión estándar 0-10V, diseñada para poder conectarse a una entrada analógica de un sistema de control para controlar el nivel de luminosidad de la zona, y ajustar la luz al nivel predefinido, ahorrando la máxima energía posible.

El producto está diseñado para ser instalado empotrado en un falso techo de una zona como oficinas, habitaciones, pasillos, etc, y puede ser utilizado en diferentes mercados como hoteles, edificios comerciales, edificios de oficinas, industria, etc.

Descripción funcional

Sensor de Movimiento

En estado de reposo, la salida relé se encuentra en la posición NA-C. Cuando se detecta un movimiento en el área de detección, la salida relé cambia su estado cerrando el contacto a la posición NC-C durante un tiempo predefinido por el temporizador. Pasado este tiempo el relé cambia de nuevo su estado a la posición inicial NA-C. El contador de tiempo se inicializa cada vez que se detecta un nuevo movimiento. Por defecto el potenciómetro viene preconfigurado a 7 minutos (aprox).

Cuando se aplica tensión al equipo el sensor de movimiento tarda 40 segundos en estabilizarse. Durante este tiempo el equipo detecta movimiento y el relé se encuentra en su posición NA-C hasta el que el sensor de movimiento se estabiliza.

Sensor de luminosidad

El sensor de luminosidad mide el nivel de luz incidente en un área definida por el diagrama de radiación del sensor y proporciona la información a través de la salida analógica de tensión 0-10V. La salida de tensión proporcionada es una señal lineal respecto al nivel de luz medido.

Cuando se aplica tensión al equipo la salida del sensor de luminosidad tarda 100 mSeg en estabilizarse.

Indicador Led

El indicador Led es una luz roja que parpadea cada vez que el sensor de movimiento detecta una variación. Cuando se detecta movimiento el Led se activa y vuelve a su estado de reposo desactivado cuando la detección de movimiento finaliza. El indicador led de detección de movimiento puede

activarse/desactivarse utilizando el pulsador (ver sección del pulsador). Por defecto el indicador Led se encuentra activado. Cuando se ajusta el potenciómetro, el indicador Led parpadea cada vez que se incrementa o decreta el tiempo ajustado. Se debe tener en cuenta que el parpadeo del Led por detección de movimiento no se anula cuando se está ajustando el potenciómetro.

Pulsador

El pulsador se utiliza para testear la salida relé y para activar/desactivar el indicador Led:

- 1) Una pulsación corta activa la salida relé durante 5 segundos, con el objetivo de comprobar su correcto funcionamiento. Pasado este tiempo el relé vuelve a su posición inicial NC-C. Cuando se pulsa el botón el Led parpadea indicando que el botón se ha pulsado y la salida relé se ha activado.
- 2) Una pulsación larga activa/desactiva la función de parpadeo por detección de movimiento. Al pulsar el botón, el Led se activa hasta que la función de activación/desactivación cambia su estado, para pasar posteriormente a apagado, pudiendo en este momento soltar el botón.

Potenciómetro

La duración de tiempo que está el relé activado se puede ajustar a través de un potenciómetro situado en la parte posterior del equipo. La resolución de tiempo varía en función de la posición del potenciómetro (ver apartado Características Técnicas).

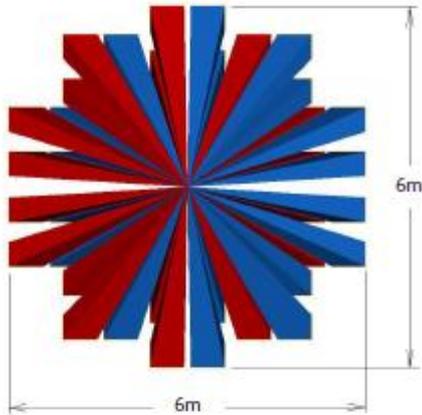
Hoja de instrucciones



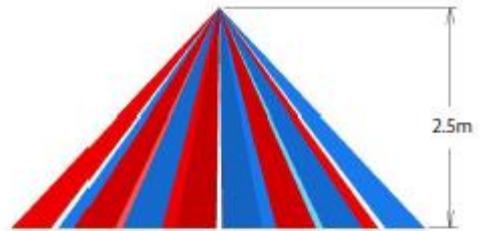
Sensor de movimiento. Diagrama de detección

Vista en planta

(instalado a 2,5 mts de altura)



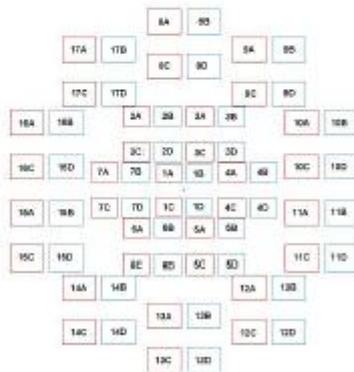
Vista lateral



Sensor de movimiento. Diagrama de detección de la zona

Vista en planta

(instalado a 2,5 mts de altura)

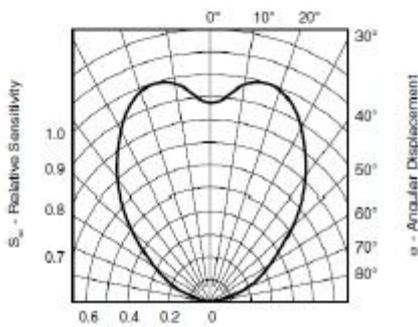


El diagrama de detección muestra el patrón de radiación del sensor de movimiento infrarrojo PIR, basado en 17 lentes que proporcionan un mecanismo altamente preciso de detección, formado por 68 zonas de detección.

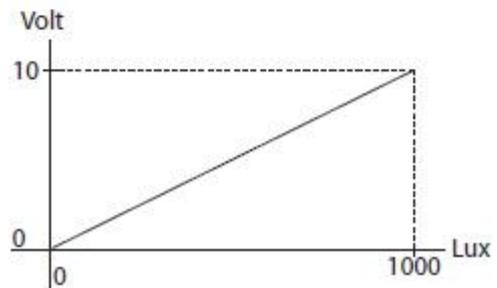
La separación nominal de zonas entre celdas es de 15 cm y la máxima zona de separación es de 40 cm (a 2mts de distancia desde el sensor).

Sensor de luminosidad

Patrón de sensibilidad

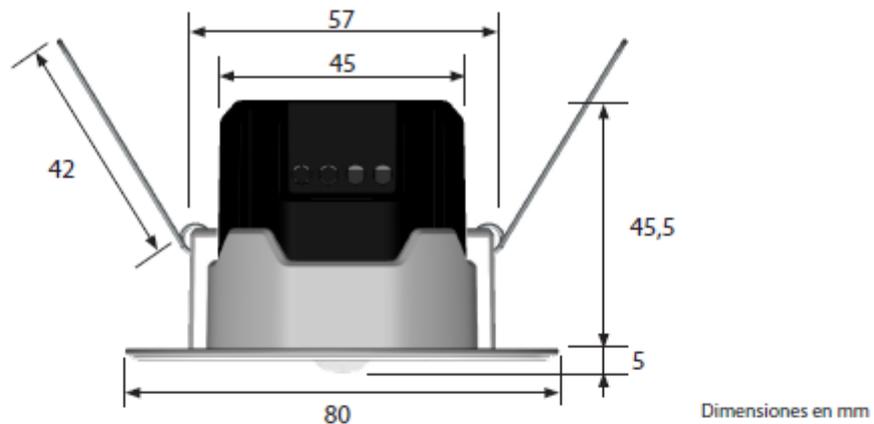


Tensión de salida respecto nivel de luz medido



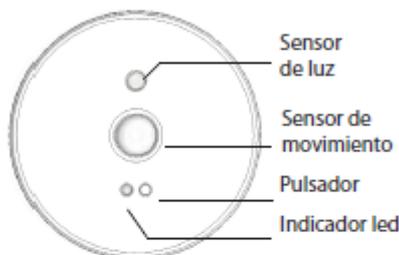
INS0011508000-1

Dimensiones

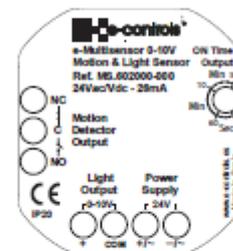


Descripción mecánica

Vista frontal



Vista posterior



(*) Gráfico no a escala

Instrucciones de montaje

El dispositivo dispone de una envolvente para montar empotrado en un falso techo.

Instrucciones para la instalación del equipo:

1) Practicar un agujero de 65mm de diámetro en el falso techo.

2) Conectar los cables eléctricos en los terminales correspondientes:

- Conectar la tensión de alimentación en los terminales +/~ -/~. Respetar la polaridad cuando se conecta una tensión continua.
- El sensor de movimiento dispone de los terminales NA-C-NC. C es el terminal común. NC es el terminal Normalmente Cerrado, NA es Normalmente Abierto. Conectar según las necesidades del sistema control.
- Conectar la salida del sensor de luminosidad respetando la polaridad. + es la salida de señal, COM es la tensión de referencia.

3) Ajustar el potenciómetro de tiempo de relé activo en la parte posterior del equipo, al valor de tiempo deseado.

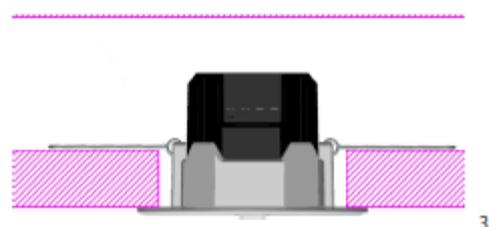
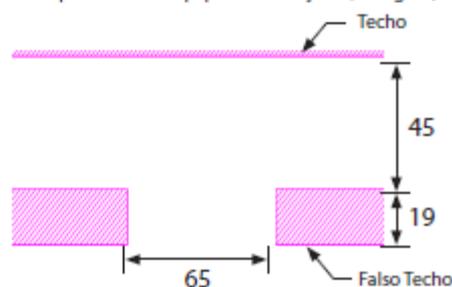
4) Forzar los clips a la posición vertical respecto al frontal e insertar el equipo en el agujero practicado en el techo, soltando los clips una vez el equipo esté encajado (ver figura).

5) Aplicar tensión al equipo. Comprobar el correcto funcionamiento del relé realizando una pulsación breve sobre el pulsador frontal. Comprobar el funcionamiento de la salida 0-10V tapando el sensor de luminosidad y verificando que la salida cambia de valor.

Precauciones:

- Evitar la radiación de luz directa sobre el dispositivo.
- Desconectar el dispositivo de la tensión de alimentación antes de montar o mover el sensor.
- No dejar los cables pelados o arrollados alrededor del equipo.
- No conectar el dispositivo con las manos húmedas.
- No abrir o agujerear el producto.
- Mantener el dispositivo y los cables lejos de la humedad y el polvo.
- Limpiar el frontal del equipo con un paño ligeramente humedecido con agua.

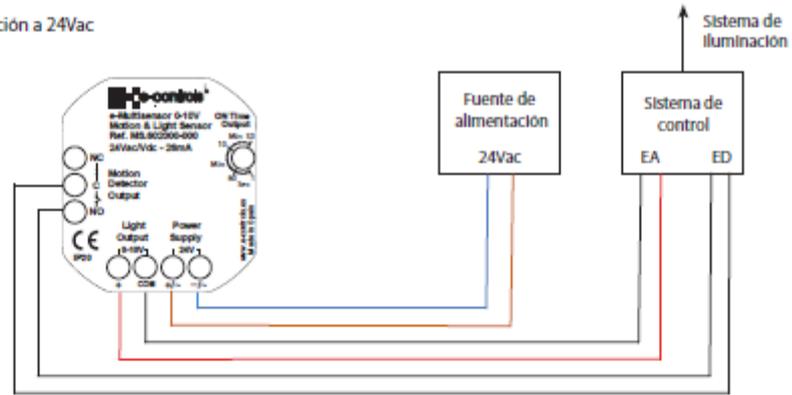
INS0011509000-1



3

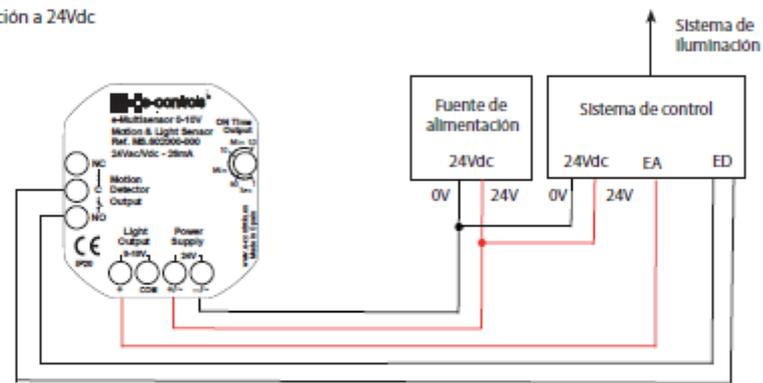
Esquemas de instalación

1- Alimentación a 24Vac



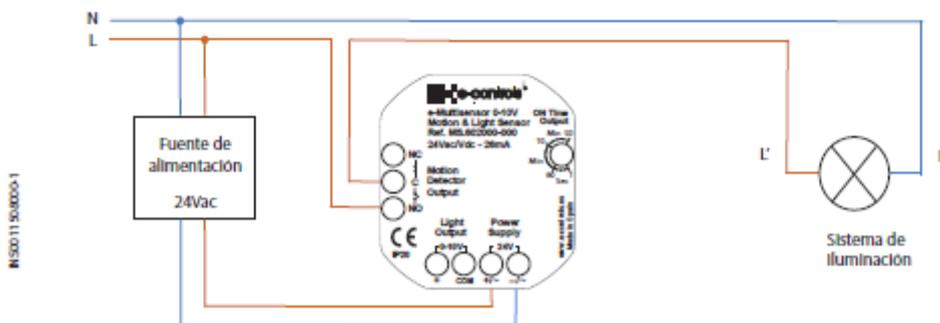
Entrada de señales: EA: Entrada analógica (0-10V)
 EI: Entrada digital (para contactos secos)

2- Alimentación a 24Vdc



Entrada de señales: EA: Entrada analógica (0-10V)
 EI: Entrada digital (para contactos secos)

3- Control de iluminación directa ON/OFF (detección de movimiento)



#30011308000-1

Características Técnicas

Alimentación

Tensión de funcionamiento 24Vdc/24Vac - 50-60 Hz
Corriente de funcionamiento (nominal) 26 mA

Sensor de movimiento (EM1)

Tecnología PIR (Infrarrojo)
Número de elementos piroeléctricos 4
Número de zonas de detección 68
Ángulo de detección (X, Y) +/- 50°
Rango de detección (a 2,5mts del suelo) 6 metros (20 pies)
Maximum detection distance 8 metros (26 pies)
Diagrama de detección Ver fig. 1
Señal de salida Relé (ver Salidas)

Sensor de luminosidad (EL1)

Tipo de sensor Fototransistor de silicio de radiación visible

Rango de detección 5 to 1000 lux
Ancho de banda espectral 400 to 800 nm
Longitud de onda de sensibilidad máxima 570nm
Diagrama de sensibilidad Ver fig. 1
Señal de salida Analógica 0-10V (ver Salidas)

Salida sensor de movimiento (SR1)

Tipo de salida Relé
Contactos de salida Libres de potencial
Tensión máxima de salida 250Vac
Corriente máxima (carga resistiva a 250Vac) 5 Amp
Tiempo de activación Ajustable por potenciómetro
Terminales NO-C-NC
(Normalmente abierto - Común - Normalmente Cerrado)

Salida sensor Luminosidad (SL1)

Tipo de salida Analógica
Tensión de salida 0 a10V
Impedancia de carga $\geq 1K \Omega$
Diagrama tensión/lux Ver fig. 2
Señal de salida Lineal
Terminales +, COM
(Señal de salida, Común)

Indicador Led (L1)

Color Rojo
Indicación Por detección movimiento
Por movimiento potenciómetro
Por pulsación del botón

Pulsador (P1)

Pulsación corta Activa salida relé (5 seg)
Pulsación larga Habilita/Desahabilita Led detección movimiento

Tiempo relé activo (PT1)

Configuración Por potenciómetro
Ajuste de tiempo 1 Seg a 50 min
Resolución de ajuste De 1 Seg a 60 seg: 1 seg
De 1 min a 10 min: 5 seg
De 10 min a 50 min: 30 seg

Instalación Mecánica

Instalación Empotrable en falso techo
Fijación 2 muelles metálicos
Diámetro agujero 65 mm
Espesor máximo falso techo 19 mm
Espacio disponible falso techo 45 mm

Características mecánicas

Dimensiones 80x50mm (ØxH)
Peso 80 gr
Color (frontal) RAL 9016
Material caja empotrable PP
Terminales Screw type
Sección cable 0,5 mm² - 2,5 mm² (14 AWG)

Temperatura

Funcionamiento 0°C to +50°C (32°F to 104°F)
Almacenamiento -20°C to +85°C (-4°F to +185°F)

Humedad (sin condensación)

Funcionamiento 10% to 90% RH at 50°C
Almacenamiento 95% RH at 50°C

Estándares de la familia de producto

Controles eléctricos automáticos para viviendas y otros usos.
Requerimientos generales EN 60730-1

Conformidad CE

Directiva de Baja Tensión 2006/95/EC
Directiva de Compatibilidad Electromagnética 2004/108/EC
Marcado CE

Seguridad

Estándar EN 60730-1
Protección IEC Class III
Nivel de protección ambiental IP20

EMC

Emissiones EN 61000-6-3
Inmunidad EN 61000-6-1

NOTAS

1) El dispositivo no está diseñado para formar parte de un sistema de seguridad.
2) Alejar el producto de fuentes de calor próximas

Referencia de producto

e-Multisensor 0-10V, (Salida Relé + Salida Analógica 0-10V) Detector de movimiento y sensor de luminosidad MS.602000-000

Productos relacionados

e-Multisensor Lon TP/FT-10, Sensor de movimiento y luminosidad LonWorks par trenzado TP/FT-10 MS.622000-000
e-Multisensor Lon PowerLine, Sensor de movimiento y luminosidad LonWorks PowerLine MS.512000-000

INSG0115/0000-1

El envoltorio de este producto se considera un contenedor industrial, siendo el receptor un profesional
El fabricante no se responsabiliza del uso o instalación incorrecta del producto
Documento sujeto a cambios sin previo aviso



Electronic Intelligent Controls, S.L.
C/ Murcia, 35 F

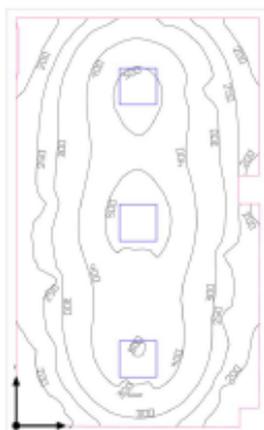
08830 Sant Boi de Llobregat
Barcelona, Spain

Tel.: +34 93 652 55 21
Fax: +34 93 652 55 22

www.e-controls.es
info@e-controls.es
5

Anexo 3. Simulación obtenida por Dialux de aula A312.

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Local 1
Año de la evaluación energética



Consumo de energía anual

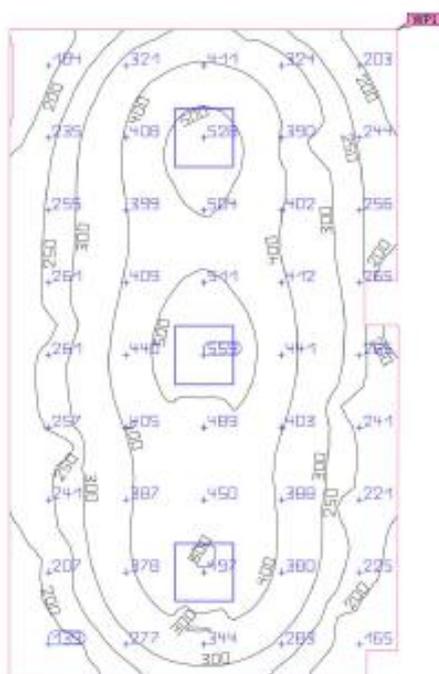
	No controlado	Controlado	Ahorro
Consumo energético (kWh/a)	246	73.6	172
LENI (kWh/(m ² * a))	9.82	2.94	6.88
Coste (\$/a)	22.11	6.62	15.49
CO ₂ (kg/a)	98.5	29.5	69.0

Autonomía con luz solar: 96 %

Datos de planificación

Perfil de uso	Instituciones de formación - Centros de formación (44.21 Salas comunes para escolares y estudiantes, salas de reuniones)
Iluminancia objetivo	300 lx
Tiempos de uso	7:00 - 21:00 en punto
Días a la semana	5 (lun - vie)

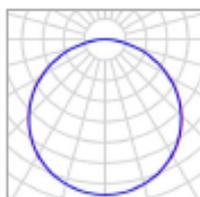
Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Local 1 (Escena de luz 1)
Plano útil (Local 1)



Propiedades	E (Nominal)	E _{mín}	E _{máx}	g ₁ (Nominal)	g ₂	Índice
Plano útil (Local 1)	340 lx	123 lx	559 lx	0.36	0.22	WP1
Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)	(≥ 300 lx)			(≥ 0.40)		
Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	✓			✗		

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación (44.21 Salas comunes para escolares y estudiantes, salas de reuniones)

Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Local 1

Plano de situación de luminarias

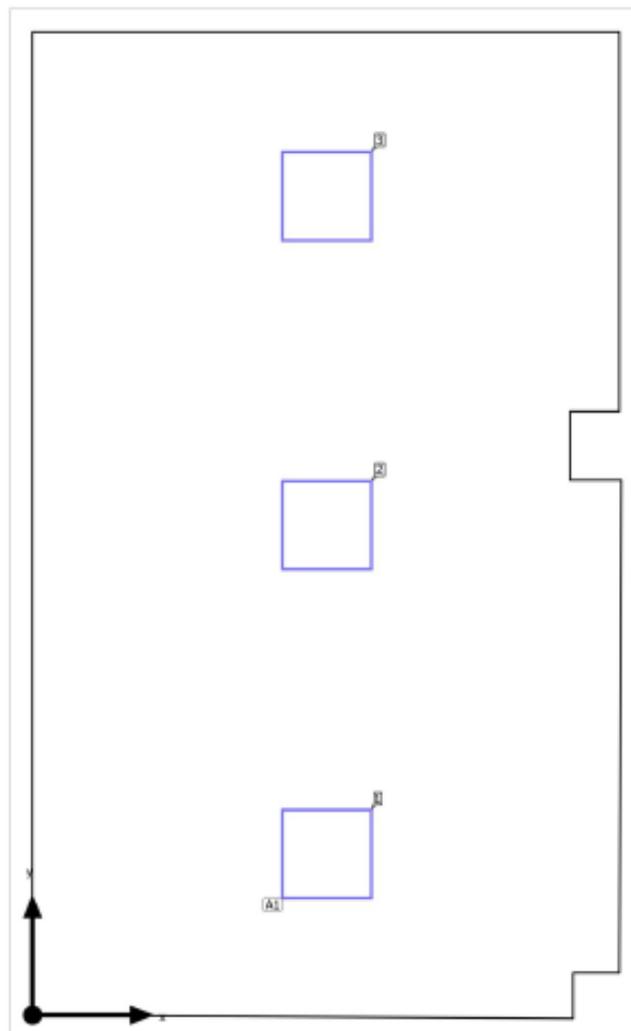
Fabricante	Arlight Rus LLC	P	45.0 W
N° de artículo	023145(1)	Φ _{Luminaria}	4500 lm
Nombre del artículo	IM-600x600A-40W Day White		
Lámpara	1x IM-600x600A-40W Day White		

3 x Arlight Rus LLC IM-600x600A-40W Day White

Tipo	Disposición en campo	X	Y	Altura de montaje	Luminaria
1era Luminaria (X/Y/Z)	1.937 m / 1.068 m / 2.560 m	1.937 m	1.068 m	2.560 m	1
Dirección X	1 Uni., Centro - centro, 3.874 m	1.937 m	3.250 m	2.560 m	2
Dirección Y	3 Uni., Centro - centro, 2.182 m	1.937 m	5.432 m	2.560 m	3
Organización	A1				

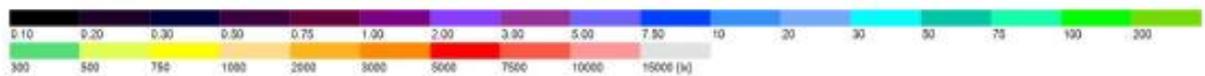
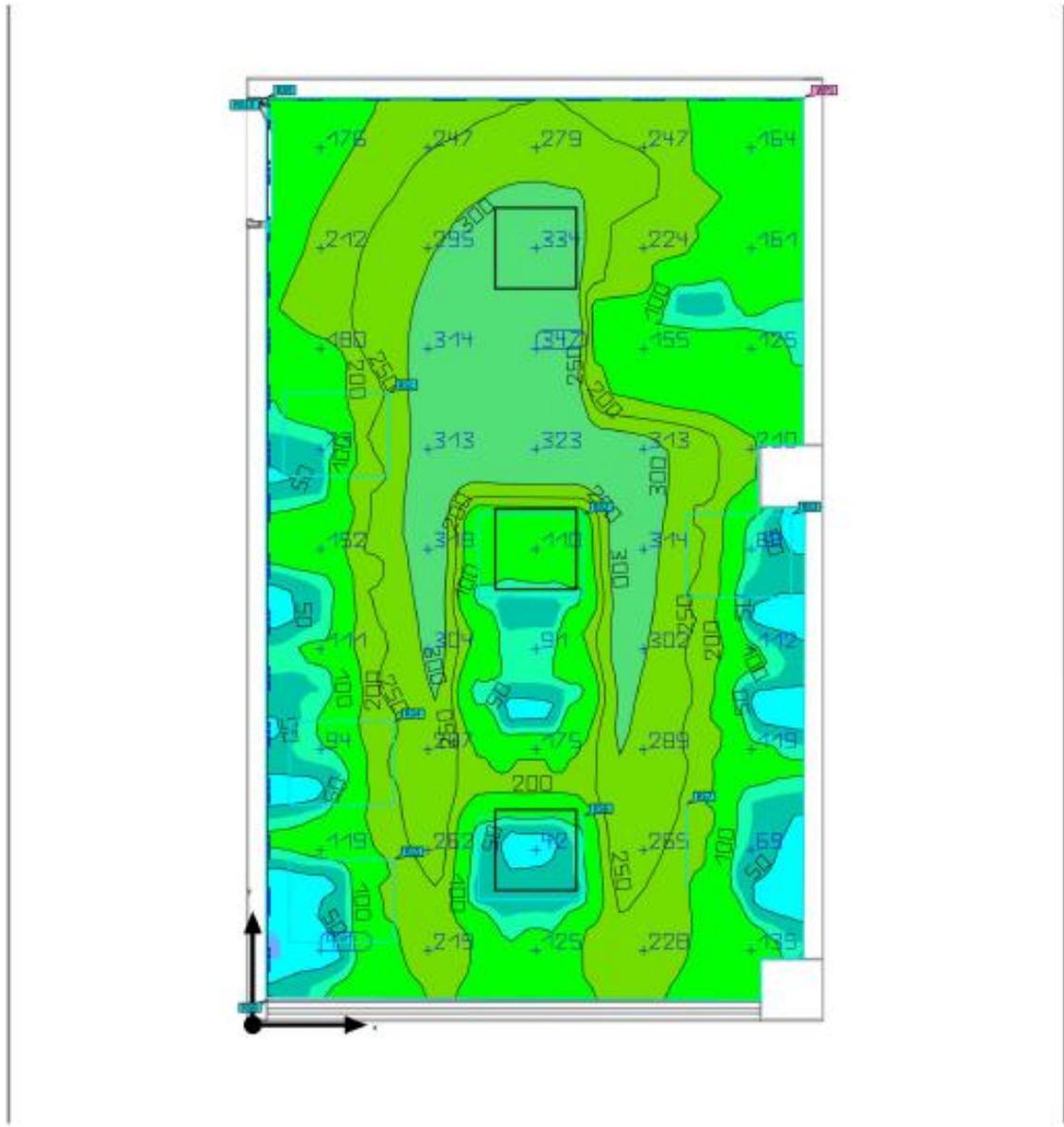
Edificación 1 · Planta (nivel) 1 · Local 1

Plano de situación de luminarias



Edificación 1 - Planta (nivel) 1 (Escena de luz 1)

Objetos de cálculo



Edificación 1 - Planta (nivel) 1 - Local 1 (Escena de luz 1)

Resumen

Resultados

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación	Índice
Plano útil	$E_{\text{perpendicular}}$	340 lx	≥ 300 lx	✓	WP1
	g_1	0.36	≥ 0.40	✗	WP1
Valores de consumo ⁽²⁾	Consumo	73.6 kWh/a	-		
Local	Potencia específica de conexión	5.40 W/m ²	-		
		1.59 W/m ² /100 lx	-		

(1) Basado en un espacio rectangular de 6.546 m x 3.874 m y SHR de 0.25.

(2) Calculado mediante el método de clasificación por horas con cielo medio (sin luz solar directa).

Perfil de uso: Instituciones de formación - Centros de formación (44.21 Salas comunes para escolares y estudiantes, salas de reuniones)

Lista de luminarias

Unl.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	R_{UG}	P	Φ	Rendimiento lumínico
3	Arlight Rus LLC	023145(1)	IM-600x600A-40W Day White	-	45.0 W	4500 lm	100.0 lm/W

Anexo 4. Certificación del director de Trabajo de Integración Curricular



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

SECRETARÍA GENERAL
Facultad de Energía las Industrias y los
Recursos Naturales no Renovables

CERTIFICACION DE APROBACION DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR O DE TITULACIÓN

Conforme lo preceptuado en el Art. 231 del Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja vigente, que textualmente en su parte pertinente dice: **"Aprobación de la Unidad de Integración Curricular o de Titulación.** La Unidad de Integración Curricular o de Titulación, está conformada por la asignatura denominada trabajo o unidad de integración curricular. A la culminación de las labores académicas de la asignatura denominada Trabajo o Unidad de Integración Curricular o de Titulación, el director del trabajo de integración curricular o de titulación, emitirá el certificado individual de culminación, con el cual el docente de la asignatura de integración curricular o trabajo de titulación calificará la aprobación del trabajo de integración curricular o de titulación el que, junto con las calificaciones logradas en el desarrollo de la asignatura, determinará la acreditación o no de la Unidad. En el certificado dejará sentada la razón de las posibles variaciones o modificaciones menores que se han realizado por ser indispensables para asegurar el buen desarrollo de la investigación...". En mi calidad de director del trabajo de integración curricular **CERTIFICO:**

Que, el señor estudiante **Josmani Miguel Pacheco Macas** con C.C. N° **070476679** ha culminado a satisfacción en el 100% el trabajo de titulación denominado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ANALÓGICO, PARA MANTENER EL NIVEL DE ILUMINANCIA EN FUNCIÓN DE LA LUZ NATURAL PARA EL AULA A312 DE LA FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES-FEIRNNR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA"**

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el señor/a docente de la asignatura de integración curricular o trabajo de titulación; proceda a la calificación y aprobación del mismo; y, conjuntamente con las calificaciones logradas en el desarrollo de la asignatura, determine la acreditación o no de la Unidad de Integración Curricular o de Titulación, del mencionado estudiante.

Loja, 16 de agosto de 2023



UNL "KINEN" Claves
CÓDIGO

F) _____

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
O DE TITULACIÓN

Anexo 5. Certificación de traducción.

Loja, 14 de noviembre de 2024

Sr. Jhoel Fernando Herrera Granda

CERTIFICADO GRADE (B2) OTORGADO POR CAMBRIDGE ENGLISH LANGUAGE ASSESSMENT

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico** titulado **“Diseño e Implementación de un prototipo de control de iluminación analógico, para mantener el nivel de iluminancia en función de la luz natural para el aula A312 de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables-FEIRNNR de la UNL ”**, de autoría del señor estudiante **Josmani Miguel Pacheco Macas** con cédula **0704716679**.

Se autoriza al interesado hacer uso de la misma para los trámites que crea conveniente.

**JHOEL
FERNANDO
HERRERA
GRANDA**

Firmado digitalmente por
JHOEL FERNANDO
HERRERA
GRANDA
Fecha: 2024.11.14
10:46:12 -05'00'

Sr. Jhoel Fernando Herrera Granda
C.I. 1150231890