



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

Diseño e implementación de sistema de control automático de iluminación para mejorar la eficiencia energética de los ambientes del CIT UCV, Moche

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Castillo Fiestas Jordan Joel (ORCID: 0000-0002-4868-9041)

Tumbajulca Alvites Milder Carlitos (ORCID: 0000-0001-6551-8909)

ASESOR:

Mg. Sánchez Huertas Carlos Enrique (ORCID: 0000-0002-6754-8017)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

TRUJILLO - PERÚ

2020

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi Dios Jehová por guiar mi camino durante todos mis años de vida.

A mis queridos padres y hermana que siempre me apoyaron de todas las maneras posibles. A mis amigos que no me faltaron y me brindaron sus palabras de ánimo. A esas personas especiales que me acompañaron en los momentos buenos y malos de este trayecto.

Jordan Castillo Fiestas

A mis queridos padres por su apoyo económico y aliento de seguir luchando por mi meta propuesta. Así también a mis hermanas, abuelos por su apoyo incondicional en momentos difíciles durante mi etapa formativa.

Milder Tumbajulca Alvites

Agradecimiento

A Jehová Dios, en primer lugar, por permitirme culminar con éxito esta carrera, a mis queridos padres y al maravilloso equipo de CleanMate; sin su ayuda jamás lo habría logrado. A mis compañeros, amigos y todos aquellos que tienen gran significado en mi vida. Al Ing. Carlos E. Sánchez H. y al Ing. Jorge E. Luján L. por su constante interés, paciencia y apoyo. A nuestro compañero Daniel Pajares por prestarnos su ayuda.

Agradezco a Dios por darme fuerzas para poder culminar con éxito mi carrera profesional, a mis padres, hermanas, amigos. A Carlos E. Sánchez H. y al Ing. Jorge E. Luján L. por su constante interés, paciencia y apoyo. Para la realización de nuestro proyecto.

Página del jurado

Declaratoria de autenticidad

Declaratoria de autenticidad

Por el presente documento nosotros: Castillo Fiestas Jordan Joel, identificado con DNI N° 70810635 y Tumbajulca Alvites Milder Carlitos, identificado con DNI N° 72918394 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, informamos que hemos elaborado el trabajo de investigación denominado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE ILUMINACIÓN PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS AMBIENTES DEL CIT UCV, MOCHE".

Declaramos bajo juramento que todos los datos e información que se presentan en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 16 de octubre del 2020



Castillo Fiestas Jordan J.



Tumbajulca Alvites Milder C.

Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página de jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Índice.....	vii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MÉTODO	19
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	19
2.2. Operacionalización de variables	20
2.3. Población, muestra y muestreo	23
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	23
2.5. Procedimiento.....	24
2.6. Método de análisis de datos	25
2.7. Aspectos éticos	26
III. RESULTADOS	27
3.1. Evaluación de la eficiencia energética del sistema de iluminación	27
3.2. Diseño e instalación del sistema automatizado de iluminación	29
3.3. Evaluación de la eficiencia energética con el sistema implementado	38
3.4. Costo-beneficio de la propuesta	39
IV. DISCUSIÓN	41
V. CONCLUSIONES.....	44
V. RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS	46
ANEXOS.....	50

RESUMEN

El presente trabajo, cuya investigación es de carácter descriptivo, tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de control automático para mejorar la eficiencia energética del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche.

Primero, se evaluó la eficiencia energética del sistema de iluminación actual; para ello, se tomaron los parámetros necesarios del aula del laboratorio de manufactura para introducirlos en el software DIALux, de tal manera que se pudo obtener el valor del VEEI. Además, se instaló un medidor monofásico para obtener un registro de mediciones de consumo energético.

Luego, se diseñó el nuevo sistema de control automático de iluminación. Se seleccionaron los componentes para controlar el sistema mediante una tarjeta Arduino UNO, el sistema se diseñó para que la iluminación se encienda/apague por zonas, según la ocupación, además, procura que exista el nivel de iluminancia adecuada según normas y recomendaciones. La PCB se diseñó con ayuda del software DipTrace.

Posteriormente, se volvió a evaluar la eficiencia energética y nuevamente se tomaron datos del medidor de energía por el mismo periodo de tiempo.

Finalmente, se evaluó el costo beneficio de la propuesta comparando el costo generado por el consumo sin el sistema de control automatizado y el costo generado por el consumo post implementación.

Se obtuvo un VEEI del sistema inicial de 2.79. Además, el consumo semanal fue de 27.3kWh. Luego, tras implementar el SAI se obtuvo un consumo energético de 19.6kWh. Esto indica un ahorro energético de 28.2%, mientras que el VEEI permaneció igual. Tras realizar la estimación del costo por consumo anual, tanto con y sin implementación, se obtuvo que el beneficio es de S/. 406.56 y un ROI de 16.72%, por lo que la recuperación de inversión se completaría en 2 años.

Palabras clave: Iluminación, Eficiencia energética, Sistema de control automático de iluminación, Consumo de energía

ABSTRACT

The present work, whose research is descriptive, aimed to design and implement an automatic control system to improve the energy efficiency of the lighting system of the environments of the Engineering and Technology Center of the César Vallejo University, Moche.

First, the energy efficiency of the current lighting system was evaluated; for this, the necessary parameters of the manufacturing laboratory classroom were taken to introduce them into the DIALux software, so that the value of the VEEI could be obtained. In addition, a single-phase meter was installed to obtain a record of energy consumption measurements.

Then, the new automatic lighting control system was designed. The components were selected to control the system by means of an Arduino UNO card, the system was designed so that the lighting is switched on / off by zones, according to the occupation, in addition, it ensures that there is the appropriate level of illuminance according to standards and recommendations. The PCB was designed with the help of DipTrace software.

Subsequently, the energy efficiency was reassessed and again energy meter data were taken for the same period of time.

Finally, the cost benefit of the proposal was evaluated by comparing the cost generated by consumption without the automated control system and the cost generated by post-implementation consumption.

An initial system VEEI of 2.79 was obtained. In addition, the weekly consumption was 27.3kWh. Then, after implementing the UPS, an energy consumption of 19.6kWh was obtained. This indicates an energy saving of 28.2%, while the VEEI remained the same. After estimating the cost per annual consumption, both with and without implementation, it was obtained that the benefit is S /. 406.56 and an ROI of 16.72%, so the investment recovery would be completed in 2 years.

Keywords: Lighting, Energy efficiency, Automatic lighting control system, Energy consumption

I. INTRODUCCIÓN

“El consumo eléctrico mundial casi se ha triplicado, con una tendencia a continuar creciendo” (Pascual, 2019). Tal es así que, en la actualidad, lograr una disminución en consumo energético se ha vuelto uno de los mayores retos, sobre todo en iluminación (Gallegos, 2018). La iluminación es un factor significativo que contribuye a la calidad de vida humana y productividad de los empleados. A medida que las economías crecen y las poblaciones se expanden, la demanda global de iluminación aumenta (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2018).

La electricidad destinada a iluminación representa aproximadamente el 15 % del consumo energético a nivel mundial y el 5 % de las emisiones de gases con efecto invernadero, (...) se requieren medidas políticas que transformen los mercados para potenciar la eficiencia energética, ya que, la iluminación es uno de los productos más rentables para establecer esta clase de medidas (PNUMA, 2018, p.4).

Mientras tanto, “el 5% del consumo eléctrico de las viviendas españolas está directamente relacionado con la iluminación” (Branco, 2019, párr. 1). Por otro lado, en México, la electricidad destinada a iluminar representa el 40% de la energía total consumida en el hogar, así como en edificios comerciales y oficinas. Incluso, se estima que para el año 2040, el consumo de energía en los hogares en el mundo aumentará un 57% (Expok, 2015, párr. 3), “lo cual ha llevado a incentivar la disminución del consumo energético en cada hogar, comercio y sitio de trabajo” (Moreno, Sosa y Gudiño, 2015, p.2).

Hoy en día, la red de iluminación es uno de los principales focos de desperdicio energético residencial (Parada, Illera, Sepúlveda, Guevara y Medina (como se citó en Carrión, 2013). Las dos principales causas son: Ineficacia de las instalaciones eléctricas (...), así como un uso irracional de la energía, efecto de los hábitos inadecuados y acciones. Algunos ejemplos de ello son la mala costumbre de dejar las luces encendidas, mantener artefactos electrónicos conectados innecesariamente, la iluminación artificial en locales aptos para utilizar iluminación natural, entre otros (International Copper Association Mexico, s.f.). Así mismo, aunque la iluminación en los hogares tiene más de 120 años, la mayoría de viviendas aún son iluminadas con ineficientes bombillas de luz incandescente, dicha ineficiencia impacta en la economía del hogar cada vez que llega el recibo eléctrico (Soper, 2005).

Precisamente en Perú, la iluminación es responsable de casi el 15% del consumo de la electricidad en el país (PNUMA, 2018). Además, los sistemas de iluminación en domicilios, oficinas y edificios funcionan de manera mecánica y presencial, es decir, requieren que el usuario haga contacto directo con el interruptor de las luminarias de un ambiente, lo que en ocasiones genera molestias en el usuario y a la vez que este las deje encendidas innecesariamente (Lanao, 2015, p.5)

Algo semejante ocurre en varios centros industriales del Perú; el diseño de la iluminación de los ambientes de trabajo, como en oficinas administrativas, naves industriales, se realiza en base a criterios arquitectónicos, relacionados a la estética, muy poco en base a criterios ingenieriles, sin respetar normas técnicas aplicables a la iluminación. Como resultado, se excede o se requiere mayor iluminación, no se prepara la ingeniería de iluminación, ni se refleja en un expediente técnico. Al final, se obtiene una iluminación deficiente, pues se consume demasiada energía eléctrica sin lograr adecuados niveles iluminativos (Jiménez, 2014).

Sirva de ejemplo el caso de la Universidad de Piura, donde se estima que el 80% del consumo total de electricidad en la biblioteca central corresponde a la iluminación de los ambientes de estudio, sectores destinados a oficinas y pasillos (Rodas, 2005).

En definitiva, el consumo de energía destinado a cubrir la demanda de iluminación constituye parte importante en los gastos energéticos de cualquier edificación, por lo que es importante controlar el consumo eléctrico mediante la aplicación de estrategias y equipos para así obtener una reducción significativa del consumo, garantizando un ahorro económico, la reducción de gases de efecto invernadero y contaminación lumínica (Martín, 2015).

Dicho lo anterior, se consultan algunos trabajos previos que buscan solucionar la problemática descrita y que servirán como antecedentes para el presente proyecto de investigación.

Merchán y Calderón (2018) abordaron como problemática que en la Universidad Politécnica Salesiana no cuentan con equipos de prueba en laboratorios para simular y experimentar ejercicios con respecto a sistemas de control automático por ese motivo surge la necesidad de diseñar y construir un módulo de entrenamiento para realizar sistemas de automatización. Para ello utilizaron elementos como: Controlador Lógico Programable (PLC S7-1200), sensores, temporizadores, software TIA PORTAL, maquetas, entre otros. Además,

consideraron aspectos de diseño como: buen flujo luminoso, rendimiento luminoso y sobre todo la vida útil de las lámparas Leds. Para la elaboración del sistema automático de iluminación.

A su vez, López y Mineros (2018) plantearon como problemática la influencia de la iluminación en la calidad de vida y rendimiento de los usuarios, sumado la gran cantidad de energía eléctrica desperdiciada por malos hábitos y el uso de dispositivos anticuados e ineficientes. En consecuencia, propusieron el diseño de una lámpara led con un sistema de control y sensores integrados, de tal manera que respondan inteligentemente a los cambios del ambiente regulando del nivel de iluminación, tono de luz y encendido / apagado.

De igual manera, Contreras (2015) abordó como problema la gran demanda de energía eléctrica en viviendas y su aumento acelerado. Para esto, realizó algoritmos de programación para controlar el encendido/apagado del sistema de iluminación, por lo cual, desarrolló un programa usando el software Visual Basic 6.0, lo que le permitió tomar medidas de variación consumo de energía en kWh y de la reducción del mismo. Además, elaboró una tarjeta electrónica y programa de control. El sistema se instaló en 20 viviendas de Huancayo y se obtuvo una reducción de consumo de energía en un 21%.

Por otro lado, Huamán (2017) abordó como problemática el área residencial, el cual presentó un alce de consumo energético según el Ministerio de Energía y Minas en 2014. Para eso, tomó como referencia estudios desarrollados por la empresa Philips (2011) y determina que un total del 20% del consumo en residencias se utiliza en iluminación y este consumo se debe principalmente a la falta de un sistema de control y al uso de tecnología anticuada. Para ello, realizó un controlador que se adecúe al control inteligente de iluminación en edificios, considerando casas, oficinas o cualquier otro ambiente donde se necesite alumbrar, presentó dos alternativas de controlador adaptativo, y al ser un sistema inteligente, se adaptó al usuario a través de la tecnología de aprendizaje automático mediante redes neuronales artificiales conectadas en conjunto, las cuales se transmitían señales de entrada y salida.

A continuación, se presentan teorías y conceptos que servirán para definir el objeto de estudio, así como la propuesta que se presenta en este proyecto.

En iluminación, la eficiencia energética se define como la optimización del consumo de energía, sin perjudicar la calidad de la iluminación. Aunque la cantidad de electricidad consumida por la iluminación es un tema importante, reducir la efectividad humana a costa de aumentar la eficiencia energética impactaría negativamente en el rendimiento humano y sería

contraproducente. Por ello, el problema que se debe abordar es cómo proporcionar iluminación con los mejores estándares adecuados a las necesidades de un ambiente a iluminar y, al mismo tiempo, utilizar la cantidad mínima de electricidad necesaria. Una forma de medirla es mediante el coeficiente Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI), el cual, evalúa la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona específica. Se expresa en función de los vatios instalados por metro cuadrado para un nivel de iluminación determinado y referenciado a 100 lux, como se visualiza en la ecuación 1 (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE], 2005; Sumper y Baggini, 2012).

$$VEEI = \frac{\text{Potencia(Lámpara+equipo auxiliar)en vatios}}{\text{Superficie iluminada en m}^2} \times \frac{100}{\text{Iluminancia media mantenida (lux)}} \quad (1)$$

Sin embargo, también es posible calcularla directamente a través de software, como DIALux, que permite crear proyectos profesionales de iluminación; muy útil para cálculos de iluminación interior (DIAL, 2019). Los valores de eficiencia límite se establecen en la figura 1 por la norma CTE DB HE 3 (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 2017).

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Figura 1. Valor límite del VEEI

Así mismo, una forma de medir el consumo eléctrico se realiza mediante contadores o medidores de energía. Les permiten a las empresas que comercializan electricidad emitir sus facturas a los consumidores. Específicamente, los medidores de energía activa contabilizan el consumo en unidades de kilovatio hora (kWh) (Yusta, 2013).

Los 3 pasos básicos para mejorar la eficiencia en sistemas de iluminación son: 1) Identificar la cantidad y calidad de luz necesaria para realizar la tarea visual 2) Aumentar la eficiencia de la fuente de luz si la ocupación es frecuente 3) Optimizar los controles de iluminación si la ocupación es poco frecuente (Short, 2004).

A su vez, un sistema de iluminación se considera como el conjunto de elementos físicos que permiten la emisión de luz hacia un espacio, superficie u objetos, tanto para interiores como exteriores. Los elementos básicos que componen un sistema de iluminación son: La fuente de luz (el tipo de lámpara), la luminaria (que incluye el mecanismo de soporte y la conexión eléctrica) y el sistema de control y regulación de la luminaria (Folguera y Muros, 2013; Martín, 2015).

Por otra parte, la luminaria está definida, según la norma UNE EN 50598-1:1998, como el aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o más lámparas y que, además, comprende todos los dispositivos necesarios para la fijar, soportar y proteger a las lámparas, y en algunos casos los circuitos de conexión enlazados con la red eléctrica (FCEdiciones, 2011). Su función principal es enfocar o difundir la luz que emana de la lámpara sin crear deslumbramiento. La eficiencia de un dispositivo es el porcentaje de lúmenes de lámpara producidos que realmente salen de la luminaria en la dirección prevista (Sumper y Baggini, 2012).

Como se ha dicho, para que un sistema de iluminación sea energéticamente eficiente, no solo debe ahorrar energía, sino también cumplir con su función correctamente (Halpeth, Senthil y Harikumar, 2005). De ahí que existan ciertos parámetros que se deben considerar antes de caracterizar las lámparas existentes (Martín, 2015).

Se empezará hablando del flujo luminoso; se define como la cantidad de luz que emite una fuente luminosa en todas direcciones por unidad de tiempo. En la ciencia de la fotometría, su unidad es el lumen (lm) (Martín, 2015).

A su vez, el rendimiento luminoso se refiere a la relación existente entre el flujo luminoso que emite una fuente de luz y la potencia eléctrica que usa para generarlo. Su unidad es el lumen/vatio (lm/W) (Martín, 2015).

Por otra parte, la iluminancia o nivel de iluminación, es la relación existente entre el flujo luminoso y la superficie que lo recibe. Su unidad es el lux (lm/m²). Dicho parámetro es importante para el diseño del sistema de iluminación; por ello, existen recomendaciones según las habitaciones a iluminar y el tipo de actividad que se realiza. Por ejemplo, la norma técnica EM.010 determina que para aulas de profesores el valor óptimo de iluminancia es 300 lux, mientras que para clases diurnas es de 500 lux, además, debe ser controlable (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006) (ver anexo 1).

A continuación, se conocerán las distintas lámparas que se suelen usar en la iluminación.

La mayor parte de la luz artificial se genera actualmente mediante tres procesos: la incandescencia (el brillo de los sólidos calientes), la emisión directa en descargas de gas, y la luminiscencia (conversión de ultravioleta en radiación visible). Sin embargo, las últimas décadas se ha desarrollado una nueva tecnología emergente, basada en la emisión de luz de dispositivos semiconductores (SSL o LED) (Sumper y Baggini, 2012).

En cuanto a las lámparas incandescentes, representan la tecnología de iluminación más antigua. Funcionan al pasar corriente eléctrica por un filamento en espiral montado dentro de una ampolla de vidrio en la que se ha realizado el vacío o que contiene gas inerte, hasta que se produce la incandescencia a 3.000°C. Son las menos eficaces (solo el 5% de la electricidad se convierte en luz, el 95% de la energía absorbida se pierde en forma de calor) y tienen la vida más corta; sin embargo, emite luz de calidad relativamente alta y no son costosas, además, son silenciosas, regulables y se encienden al instante; aun así, muchos gobiernos han adoptado regulaciones para reemplazarlas por alternativas más eficientes (Oliva Iluminación, 2018; Sumper y Baggini, 2012).

Por otra parte, las lámparas fluorescentes son las de descarga de gas más comunes y actualmente proporcionan la mayor parte de la iluminación global. Producen luz gracias a una descarga eléctrica que excita el gas (vapor de mercurio y poco de argón) contenido en un tubo, generándose una radiación sobre todo en el campo de la luz ultravioleta, dicha radiación se dirige hacia la materia que recubre interiormente las paredes del tubo y se transforma en energía

luminosa visible. Este tipo de lámparas ha logrado un avance significativo en el rendimiento en las últimas dos décadas; las antiguas lámparas T12, operadas por balastos magnéticos ineficientes, han sido reemplazadas por nuevas versiones (T8 y T5) con mayores niveles de eficacia y una vida útil mucho más larga que las lámparas incandescentes (Enríquez, 2005; Sumper y Baggini, 2012).

A su vez, las lámparas fluorescentes compactas (CFL) generalmente consisten en 2, 4 o 6 tubos fluorescentes pequeños que se montan en una base unida a un balasto (para modelos con balasto integrado), o son tubos de complemento (alternativa no integrada). Los modelos más recientes representan una de las soluciones más eficientes para mejorar la eficiencia energética en la iluminación residencial. De hecho, las CFL consumen del 20 al 25% de la energía utilizada por las bombillas incandescentes para proporcionar el mismo nivel de luz. La esperanza de vida es de 6000 a más de 15 000 horas de vida útil, los precios también se han reducido considerablemente; incluso, las CFL regulables ya están disponibles y aumentando sus prestaciones (Sumper y Baggini, 2012).

Con respecto a la iluminación de estado sólido (SSL), representa una tecnología de iluminación que involucra diodos emisores de luz (LED) y diodos orgánicos emisores de luz (OLED), dispositivos semiconductores que emiten luz cuando una corriente los atraviesa; los mismos, permiten que la electricidad viaje en una sola dirección (Mottier, 2010; Sumper y Baggini, 2012). Con ventajas significativas (larga vida útil, posibilidades de mezcla de colores, espectro, flexibilidad de diseño y tamaño pequeño, fácil control y atenuación, libres de mercurio, entre otras) se espera que los LED transformen radicalmente las prácticas de iluminación y el mercado en el futuro cercano, ya que su rendimiento energético continúa mejorando considerablemente; para el 2015 se esperaba que la eficacia luminosa máxima de los LED blancos fríos convertidos con fósforo fuera de alrededor de 200 lm / W y que los LED blancos cálidos sea superior 140 lm / W (European Lamp Companies Federation, 2007; Gonzáles *et al.*, 2016; Sumper y Baggini, 2012).

También, los OLED son una tecnología prometedora que, en última instancia, podría producir dispositivos que son significativamente menos costosos que los LED; aunque están algo por detrás de los LED en las mejoras de rendimiento (Sumper y Baggini, 2012).

El siguiente punto trata respecto a los balastos. Todas las lámparas de descarga tienen una característica de impedancia negativa, y se debe usar un dispositivo suplementario

(llamado balasto) para que operen correctamente; este elemento suministra un alto voltaje para iniciar el arco de descarga y luego limita la corriente a niveles que permitan la estabilidad del arco de descarga durante el funcionamiento normal (también puede incluir condensadores para corregir el factor de potencia).

Los balastos electromagnéticos comprenden un núcleo magnético de varias placas de acero laminado envueltas con bobinados de cobre; son los más populares. Aunque habilitan la capacidad de atenuación de lámpara continua o escalonada, son de gran tamaño y peso, baja eficiencia y sensibilidad a los cambios de voltaje (Guo, 2008). Los balastos electrónicos superan estos inconvenientes, ofreciendo a la vez una vida útil más larga, compactibilidad, menos parpadeo de lámpara y ruido, mejor arranque, factor de potencia de 1 sin utilizar un condensador y atenuación completa (International Energy Agency, 2008; Sumper y Baggini, 2012).

Los últimos productos ofrecen funciones adicionales: se pueden incorporar fotocélulas, atenuación automática de la salida de una lámpara fluorescente de acuerdo con la disponibilidad de luz natural (ahorro de cantidades significativas de energía), el uso de circuitos inteligentes para optimizar el encendido y el reinicio de la lámpara, lo que permite aumentar la vida útil de la lámpara fluorescente (esta función es importante si la lámpara se activa con frecuencia (Sumper y Baggini, 2012).

El siguiente aspecto describe la tecnología de control de iluminación y sistemas de control.

Hoy en día, la operación inadecuada de los sistemas de iluminación está causando que una gran proporción de luz eléctrica sea entregada a espacios donde no hay nadie presente, o para los cuales ya hay suficiente luz natural. El consumo de energía puede reducirse controlando adecuadamente el número de horas de funcionamiento y / o el nivel de salida de luz; los controles de iluminación pueden ser manuales o automáticos, o la combinación de ambos. Principalmente ofrecen la capacidad de encender y apagar el sistema de iluminación existente y controlar el nivel del flujo luminoso de las lámparas (Sumper y Baggini, 2012).

El control manual es la forma más simple de control, proporciona la función de On/Off mediante un interruptor manual unipolar. La eficiencia del control depende de la ubicación del dispositivo. Así, mismo existen reguladores de estado sólido para lámparas incandescentes y actualmente se están combinando estos atenuadores con lámparas CFL energéticamente

eficientes (Sumper y Baggini, 2012). Su forma de control es mediante una palanca o botón giratorio que se mueve de una posición “cero” a 100% y la luz de la luminaria varía en consecuencia. La salida de la luz cambia ya sea teniendo una lámpara con el equipamiento de filtro u obturador variable; o variando la potencia suministrada a la lámpara (Simpson, 2003).

Por otro lado, dentro de los sistemas que controlan instalaciones de alumbrado, se desarrollaron los sistemas automáticos de control de iluminación (SACI), cuya función es encender, apagar y atenuar la iluminación (González, González y García, 2016).

Primero se describe la función on/off, este sistema permite que las luces se apaguen cuando el espacio no esté en uso a través de detección de ocupación o temporización. Existen tres tipos de sensores de ocupación, todos los cuales se basan en la detección de movimiento: PIR infrarrojo pasivo (detecta el movimiento de las fuentes de calor), ultrasonido US (detecta objetos que se mueven en el espacio) e híbridos (también llamados tecnología dual (DT), tienen detectores infrarrojos pasivos y ultrasónicos; esta tecnología evita el encendido falso producido por cortinas o papeles arrastrados por el viento, por ejemplo. Otro control de tecnología dual incorpora un sensor de micrófono, que detecta pequeños sonidos, como el giro de páginas, aun si un ocupante no muestra ningún movimiento apreciable (Sumper y Baggini, 2012).

Cuando el sensor detecta movimiento, activa un actuador que enciende el sistema de iluminación, si no se detecta movimiento dentro de un período específico, las luces se apagan hasta detectar movimiento nuevamente. Con la mayoría de los sensores, la sensibilidad y el tiempo son ajustables; pueden montarse en la pared o en el techo. (Sumper y Baggini, 2012).

A su vez, los temporizadores o relojes de tiempo, sean electrónicos o mecánicos, encienden y apagan luces a horas preestablecidas. Son ideales para controlar sistemas de luces cuando su horario de operación es fijo. Aun así, estos dispositivos requieren de chequeos frecuentes para verificar su correcto funcionamiento; también necesitan ser ajustados para el cambio de estación y aquellos que no cuentan con una batería de respaldo suelen encenderse y apagarse en horas incorrectas (Sumper y Baggini, 2012).

Así mismo, el control de nivel de iluminación se ajusta automáticamente en respuesta al nivel de iluminancia detectado para mantener un valor ya definido. Se realiza mediante una combinación de fotosensores que miden continuamente el nivel de iluminancia y balastos electrónicos que ajustan automáticamente y de forma escalonada la emisión de luz de las lámparas. De esta manera es posible armonizar la iluminación natural con la iluminación

artificial. Generalmente, se fabrican adaptables a las lámparas fluorescentes lineales y sistemas con CFL de bajo consumo (Hilos, 2008; Sumper y Baggini, 2012).

Respecto a las formas de señal existentes de esta forma de control, generalmente se usan balastos atenuadores de señal DC 0-10 V, incluso si funcionan con corriente alterna. Sin embargo, el estándar internacional DALI (Interfaz de Iluminación Digital Direccional) ha logrado superar los problemas provocados por la interfaz 1-10 V y proporciona una comunicación simple entre componentes inteligentes, así, cada luminaria del sistema se puede programar individualmente o por grupos para diferentes tareas (Zumtobel Lighting, 2018).

Se debe agregar que, otra forma de control aplicable a un sistema de iluminación se realiza mediante microprocesador y funciona tanto para un pequeño espacio independiente como para todo un edificio; generalmente, se conecta con temporizadores, fotosensores, entre otros (Sumper y Baggini, 2012).

En base a ello, se formula el siguiente problema: ¿Cómo mejorar la eficiencia energética del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche?

En pocas palabras, es importante mejorar la eficiencia energética en los sistemas de iluminación de las aulas en centros de estudios, como las de la Universidad César Vallejo, sede Moche, empleando estrategias y dispositivos que mediante la automatización garanticen un uso responsable de la energía, así como un ahorro económico y reduzcan tanto la contaminación lumínica como ambiental por gases de efecto invernadero.

En consecuencia, el presente proyecto tiene como objetivo general diseñar e implementar un sistema de control automático para mejorar la eficiencia energética del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche. Como objetivos específicos, en primer lugar, se evaluará la eficiencia del sistema de iluminación actual del aula del laboratorio de manufactura. Una vez definido esto, se diseñará el nuevo sistema de control automático de iluminación. Luego se evaluará la nueva eficiencia energética con el sistema implementado. Finalmente se evaluará el costo beneficio de la propuesta.

La pretensión del proyecto es llegar a la siguiente hipótesis: Diseñando e implementando un sistema de control automático mejora la eficiencia energética del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Para el proyecto se utilizó la investigación aplicada, con la finalidad de aplicar conocimientos de eficiencia energética, sistemas de iluminación y sistemas de control automático. De este modo, se relacionaron de manera directa a problemas presentados en sistemas de iluminación deficientes que causan elevados consumos de energía eléctrica.

La investigación aplicada se refiere a “experiencias de investigación con propósitos de resolver o mejorar una situación específica o particular, para comprobar un método o modelo mediante la aplicación innovadora de una propuesta de intervención” (Vargas, 2009, p.9).

Nivel de la investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo, puesto que buscó caracterizar, describir funcionamientos de cada elemento, seleccionar los elementos de acuerdo a los requerimientos deseados para el diseño automatizado de iluminación e identificar variables para obtener información y poder dar una solución al problema de estudio.

La investigación descriptiva trata de explicar propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, tan solo pretende medir o acumular información de manera independiente para describir variables establecidas por el investigador (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Método

El método que se empleó en el proyecto de investigación fue deductivo ya que se utilizaron conocimientos generales sobre métodos de iluminación eficientes, con la finalidad de reducir el consumo energético por parte de la iluminación. De esta manera, se convirtió en un diseño particular para la comprensión de todo lector interesado en proyectos de diseños de sistemas de iluminación eficientes.

Según Palella y Martins (2012), la investigación deductiva “hace referencia a la descomposición del todo en diferentes partes. En otras palabras, trata de descomponer de

lo general a algo particular. De este modo caracterizar mediante un análisis de estudio” (p. 81)

Para esto se realizó el análisis de documentos como: tesis, revistas, artículos, entre otros y así, llegar a tener un resumen simple para entender el problema.

Por ello, se elaboró una síntesis para llevar un orden estructurado hacia la solución del problema de una forma compuesta por diferentes elementos del sistema de iluminación.

Diseño de investigación

La investigación fue experimental ya que se implementó el sistema automático de iluminación con el propósito de medir el consumo de energía eléctrica del sistema actual de iluminación y poder comparar la variación del consumo de energía eléctrica con el nuevo sistema automático de iluminación implementado.

Palella y Martins (2012) definen al diseño experimental como una forma en donde el investigador puede manipular una variable experimental no probada, bajo condiciones rigurosamente inspeccionadas. Su finalidad es describir de qué modo y que causa hace aparecer el fenómeno. Además, busca predecir el futuro, enfocándose en la elaboración de pronósticos sobre algún tema en particular, que una vez sean confirmados se convierten en leyes para ayudar a mejorar conocimientos educativos (p. 86).

2.2. Operacionalización de variables

Según Hernández et al (2010), “Una variable es una propiedad que puede oscilar y cuya variación es apto de medirse u observarse” (p. 135). Para el proyecto de investigación se tomó como variable independiente el sistema de control automático de iluminación del aula del laboratorio de manufactura del CIT UCV- Moche. De esta manera, Palella y Martins (2012), definen que “la variable independiente expresa la causa que produce el resultado o efecto observado”. En función la variable descrita, se definió la variable dependiente como eficiencia energética del aula del laboratorio de manufactura del CIT UCV- Moche, para la cual, se tomó como indicadores el coeficiente Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) y el consumo de energía, por ser cuantificables y porque todos los autores consultados previamente las definen como parámetros significativos en ella. Según Palella y Martins (2012), “la variable

dependiente representa el resultado producido por la variable independiente” (p. 68)
(Ver tabla 1).

Tabla 1

Variables de estudio

Variables	Tipo
Sistema de control automático de iluminación.	Independiente
Eficiencia energética	Dependiente

Fuente propia

La operacionalización de variables se muestra en la tabla 2

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición
Sistema de control automático de iluminación	Independiente	Sistema de control de alumbrado cuya función es encender, apagar y atenuar la iluminación (González, González y García, 2016)	Es el conjunto de elementos compuestos por tipo de lámpara, cantidad de lámparas, distribución de lámparas y elementos de control	Tipo de lámpara	Nominal
				Cantidad de lámparas	De razón
				Elementos de control	Nominal
Eficiencia Energética	Dependiente	Es la optimización del consumo de energía, sin perjudicar la calidad de la iluminación (Sumper y Baggini, 2012)	Índice que evalúa la eficiencia energética de cada sistema de iluminación de los ambientes del CIT UCV, Moche. Optimización del consumo energético	VEEI (W/m ² /100 lux)	De razón
				Consumo de energía (kWh)	De razón

Fuente: Elaboración Propia

2.3. Población, muestra y muestreo

Población

Sistemas de iluminación de los ambientes del CIT UCV, Moche. “La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” Selltiz et al., 1980 (como citó Hernández et al., 2010, p. 216).

Muestra

Sistema de iluminación del aula del laboratorio de Manufactura del CIT UCV, Moche. La muestra “es una porción de la población de interés para la recolección de datos, la cual sirve para poder definir y delimitar el subgrupo de la población.” (Hernández et al., 2014, p. 215).

Muestreo

La técnica de muestreo utilizada en el proyecto fue no probabilística por conveniencia, de esta manera se consideró tres criterios de selección de la muestra: horarios cargados de estudio de los ambientes del CIT UCV, Moche en relación a las horas de estudio durante todos los días de la semana, instalaciones de luminarias de dichos ambientes no estaban independizadas para cada aula, más de 20 luminarias instaladas en su interior por aula. En consecuencia, no se podría haber realizado la prueba piloto. Sin embargo, el aula del laboratorio de manufactura si cumplía con dichos aspectos, ya que esta tenía horas libres, instalación independiente de luminarias y tiene 6 luminarias instaladas cada una compuesta de 6 lámparas de 14w. Todos estos aspectos hicieron posible la implementación de la prueba piloto del sistema automático de iluminación.

El muestreo por conveniencia Según Espinoza (2016), es “la muestra que está disponible en el tiempo o periodo de investigación” (p.18).

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas

Se utilizó la técnica de **análisis documental**, ya que se realizó consultas en fuentes de información tales como páginas web, catálogos, planos civiles y libros entre otros. “Se basa en procesar información de diversas fuentes. En otras palabras, se trata de explorar sobre el tema de estudio en documentos, escritos u orales” (Palella y Martins,

2012, p. 90). De esta manera se realizó una **ficha de recolección de datos (ver anexo 2)** con el objetivo de evaluar el índice de eficiencia energética del sistema actual y el implementado. Se tomaron datos de texturas de dicho ambiente, dimensiones, tipos de lámpara, entre otros, para luego simular en el programa DIALux y determinar el valor de la eficiencia energética de la instalación, nivel de iluminación del ambiente, entre otros aspectos de diseño.

También, se empleó la técnica de observación para la recolección de datos del consumo eléctrico del sistema de iluminación del aula del laboratorio de manufactura-UCV-Moche. De esta manera la observación consistió en el uso sistemático de los sentidos orientados a la captación de la realidad que se estudia (Palella y Martins, 2012). Por ello, se instaló un medidor de energía activa y se llevó un **registro de mediciones (ver anexo 3)** de consumo de energía activa por parte de las luminarias instaladas en dicho laboratorio durante una semana, tanto antes como después de implementar el sistema de control automático.

2.5. Procedimiento

2.5.1. Diagrama de Flujo

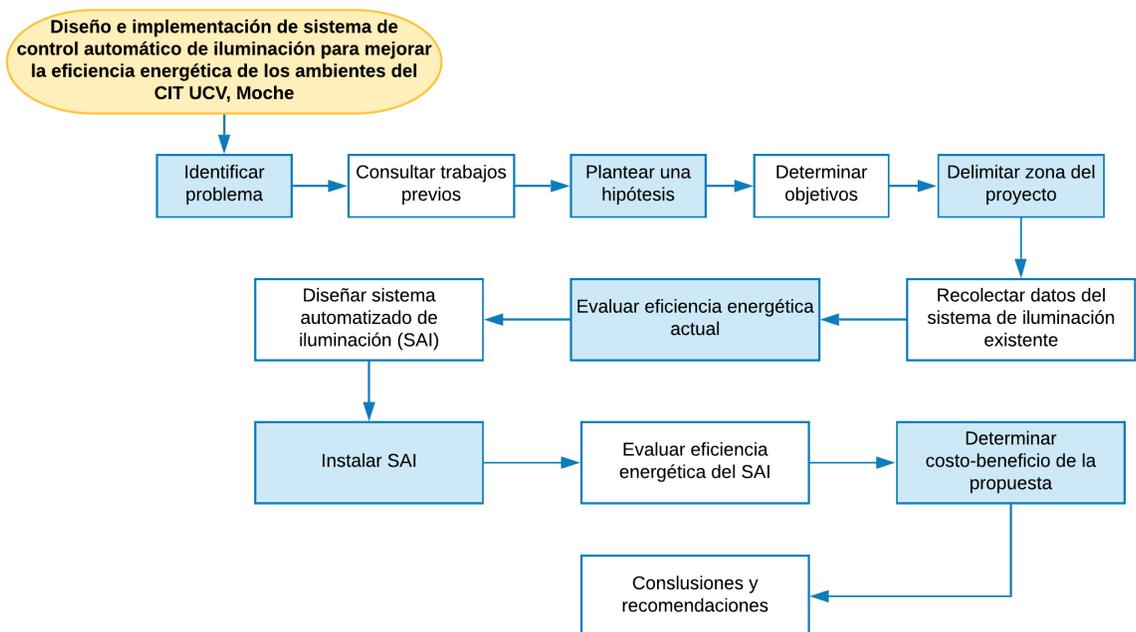


Figura 2. Diagrama de flujo para el procedimiento de la investigación

Descripción breve del procedimiento

Como se puede observar en la figura 2, para la realización de este proyecto, se elaboró un diagrama que expone una secuencia de actividades para el desarrollo del mismo. Se empezó identificando la realidad problemática y se procedió a consultar trabajos previos que propongan una posible solución. En base a ello se planteó una hipótesis y, posteriormente, los objetivos que llevaron a comprobar dicha hipótesis. Luego, se determinó el sistema de iluminación que se tomó como objeto de estudio, en este caso, del aula del laboratorio de manufactura, y se recolectaron datos y mediciones para poder evaluar la eficiencia energética de la instalación existente. Después, se diseñó el sistema automatizado de iluminación, se instaló y se volvió a evaluar la eficiencia energética del sistema de iluminación. Por último, se determinó el costo-beneficio de la propuesta y se dieron algunas conclusiones y recomendaciones.

2.6. Método de análisis de datos

Existen diversos programas para analizar datos. En esencia su funcionamiento es muy similar, estos incluyen en sus sistemas internos datos recolectados de cada variable y sus indicadores de acuerdo a matrices realizadas. Para luego brindar información de interpretación para el investigador Hernández et al (2010, p.278). Por ello, en el presente proyecto se utilizaron los siguientes programas para el análisis de estudio:

Software DIALux, con la finalidad de calcular eficiencia energética del sistema actual de iluminación e iluminancias. De acuerdo a esto, comparar los resultados obtenidos con datos establecidos de sistemas eficientes de iluminación y valores óptimos de iluminancia por parte de la normativa.

AutoCAD, se emplea para la realización de planos eléctricos, planos del sistema automatizado de iluminación, para representación del diagrama general del SAI y diagramas de tiempos de operación de los sensores empleados.

Software DipTrace, para el diseño la placa de circuito impreso en la que se distribuyen los componentes principales del circuito de control, esto favorece el montaje correcto de las partes (ver anexo 23).

Excel, ayuda a procesar los datos recolectados de consumo de energía en KWh medidos por el medidor monofásico instalado de la marca TKL. En consecuencia, se

realizaron gráficos de consumo de energía versus los días de operación de dichas luminarias con la finalidad de que sea más entendible para el lector.

2.7. Aspectos éticos

El presente proyecto se constituyó de los siguientes aspectos éticos (ver tabla 3)

Tabla 3

Aspectos éticos

Criterios	Características
Ambiente	La propuesta de solución propiciara el cuidado de medio ambiente
Veracidad	La información mostrada será verdadera cuidando la confidencialidad de esta.

Fuente propia

III. RESULTADOS

3.1. Evaluación de la eficiencia energética del sistema de iluminación

Medición del coeficiente VEEI

A partir de los planos arquitectónicos del CIT UCV, Moche se logró obtener las dimensiones del aula del laboratorio de manufactura. Por la observación, se logró determinar la distribución de las luminarias y con ayuda del software AutoCAD se levantó el plano eléctrico del circuito de iluminación del ambiente (ver anexo 4).

El ambiente cuenta con 6 luminarias. Cada una de ellas contiene 4 lámparas fluorescentes PHILIPS de 14W cada una. Su ficha técnica se encuentra en el anexo 5.

Los datos fueron apuntados en la ficha de recolección de datos (ver anexo 2) e ingresados al software DIALux, dicho programa permite diseñar, calcular y visualizar sistemas de iluminación de manera profesional tanto en interiores como exteriores. Una vez que el programa realizó el análisis fotométrico y la simulación (ver anexo 6) se obtuvo que la iluminancia o nivel de luz del ambiente es de 382 lux y el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) es de $2.79 \text{ W/m}^2/100 \text{ lux}$ (ver anexo 7). Como se puede verificar en la figura 1, el valor del coeficiente VEEI del ambiente, se encuentra dentro de los límites permitidos por la norma del Código Técnico de la Edificación DB HE 3 para aulas y laboratorios.

Medición del consumo de energía

Para obtener datos confiables del consumo de energía que generaba el sistema de iluminación se instaló un medidor de energía activa monofásico de la marca TKL. Ver ficha técnica en anexo 8. En la figura 3 se puede visualizar la conexión del circuito de iluminación con el medidor de energía. El dibujo del medidor es referencial puesto que el medidor es analógico y no digital.

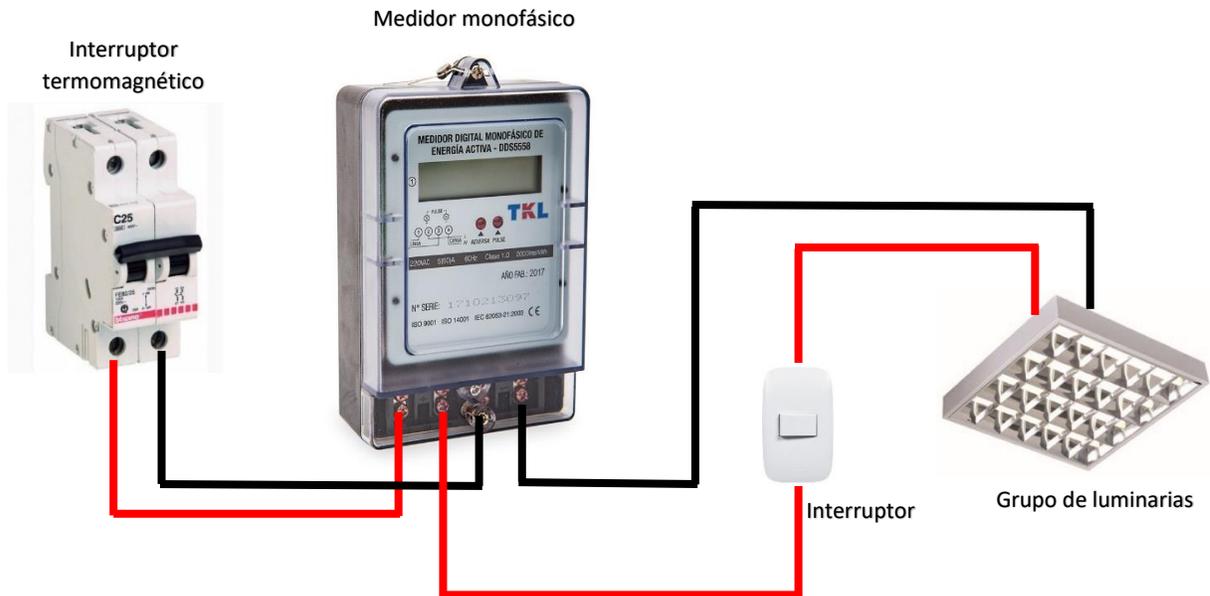


Figura 3. Circuito de conexión de medidor monofásico electrónico. Fuente propia

Con la instalación del Medidor Monofásico se recolectó datos de consumo durante una semana de estudio, para ello la figura 4, muestra el comportamiento de consumo de energía por día. En donde, los días lunes y viernes sus consumos son similares aproximándose a los 5.5 kWh; mientras tanto, el día jueves existe un consumo mayor de 7.5 kWh con respecto a los otros días de la semana. Se hace referencia a estos tres días debido a que tienen un mayor consumo de energía en kWh. Se determinó que hubo un consumo semanal de 27.3 kWh con el sistema de iluminación inicial

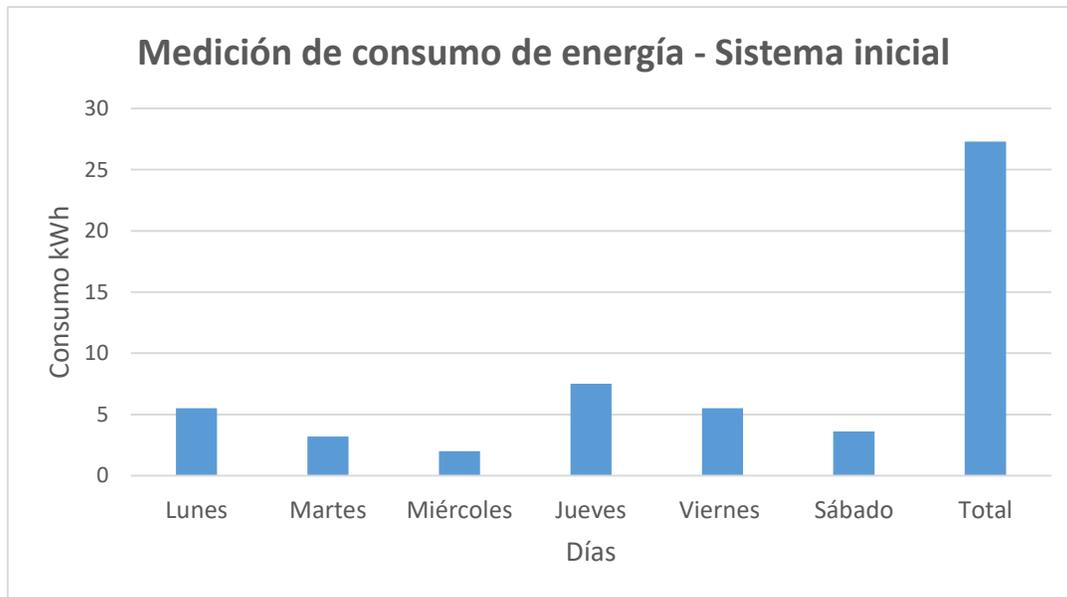


Figura 4. Medición de consumo de energía durante una semana con sistema actual

3.2. Diseño e instalación del sistema automatizado de iluminación

Selección de componentes

- Sensor de movimiento

Primeramente, se tomó en cuenta la metodología de la compañía Legrand (ver anexo 9). Al ser un espacio sin paredes interiores y muchos equipos, así como pequeño y bien definido se optó por utilizar el Módulo PIR HC-SR501 (tecnología infrarroja pasiva) de Nylamp Mechatronics.

Adicionalmente, se realizaron los cálculos para su selección (ver anexo 10), para lo cual, se tomó en cuenta las dimensiones del aula, dividiéndola en 3 partes iguales y se halló el ángulo de detección requerido para cada sección. Finalmente, se hizo un cuadro comparativo con los requerimientos y las características del sensor.

Dicho módulo se constituye por un sensor Piroeléctrico que detecta cambios de radiación infrarroja emitidas por objetos (como el cuerpo humano). El mismo, cuenta con 2

potenciómetros que posibilita la regulación de sensibilidad y tiempo de duración del pulso. En la figura 5, se observa el módulo descrito. Sus especificaciones se describen en el anexo 11.



Figura 5. Módulo PIR HC-SR501PIR.

Fuente: Naylamp Mechatronics

- Sensor de iluminancia

Con la finalidad de cumplir con la normativa y estándares aplicados a sistemas de iluminación se elaboró un cuadro comparativo con los requerimientos del sistema y las características que ofrece el sensor de luz digital BH1750 de Nylamp Mechatronics (figura 6). Ver anexo 12.

Dicho sensor de iluminación permite llevar a cabo mediciones de iluminancia (en lux) a través del protocolo de comunicación I2C. Se escogió puesto que permite detectar un amplio rango (1 - 65535 lux) a alta resolución. En el anexo 13 se observa sus especificaciones técnicas.



Figura 6. Módulo sensor de luz digital BH1750.

Fuente: Naylamp Mechatronics

- Controlador

Para la selección del controlador, se tuvo en cuenta los datos de los sensores de movimiento y sensor de luz. Como también, se consideró la capacidad de memoria, ya sea memoria de programa o dinámica. Para ello se elaboró un cuadro comparativo con el fin de verificar el cumplimiento de los datos ya mencionados con las características técnicas que ofrece la tarjeta Arduino UNO (ver anexo 14).

Se comprobó que la tarjeta Arduino UNO R3 cumple con los requerimientos del sistema. Este controlador es la plataforma más utilizada a nivel mundial al desarrollar proyectos, esto se debe a su facilidad de aprendizaje y múltiples aplicaciones, como en la domótica. Utiliza el microcontrolador ATmega328P y tiene todo lo requerido para su funcionamiento, el montaje se observa en la figura 7 y sus especificaciones técnicas en el anexo 15.



Figura 7. Tarjeta Arduino UNO R3.

Fuente: Naylamp Mechatronics

- Actuador

Para seleccionar el actuador adecuado, se realizaron cálculos de corriente que consumen las luminarias y se elaboró un cuadro comparativo con los requerimientos del sistema y los que ofrece el módulo (ver anexo 16).

De esta manera, se seleccionó el módulo relay 1CH 5VDC de Naylamp Mechatronics, que permite controlar el encendido/apagado de equipos de alto voltaje o amperaje mediante una señal pequeña y funciona perfectamente con Arduino (figura 8). Ficha técnica en anexo 17.

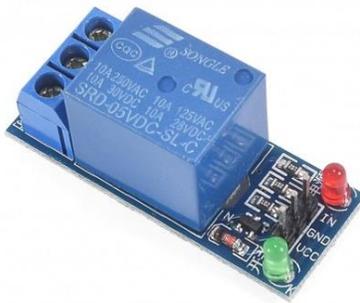


Figura 8. Módulo Relay 1CH 5VDC.

Fuente: Naylamp Mechatronics

- Fuente de alimentación

Se seleccionó un transformador de 12V que se obtuvo de un router para alimentar a la tarjeta Arduino UNO, según las recomendaciones de las especificaciones técnicas del fabricante (figura 9).



Figura 9. Fuente de 12V.

Fuente: Naylamp Mechatronics

- Convertidor DC-DC Step-Down

Dado que el sistema a diseñar tiene como fin optimizar el consumo de energía, no se utilizó la salida de 5V que ofrece la tarjeta de Arduino UNO, ya que la conversión se realiza mediante un regulador lineal. Se debe tomar en cuenta que mientras más grande sea la diferencia de voltaje en la entrada y salida de un regulador lineal, más potencia consumirá y tendrá menor eficiencia. La diferencia de voltaje entre la entrada en el Arduino y la de alimentación a los sensores es de 7V, por lo tanto, será una pérdida considerable. Por otro lado, los reguladores

DC-DC de tensión conmutados, que funcionan como un interruptor on/off permiten que la energía pase o se detenga, pero no disipa la energía misma, como en el caso de los lineales. Además, mantienen constante el voltaje de salida a diferentes condiciones de carga (Salivahanan y Suresh, 2018). En consecuencia, se tomó en cuenta los consumos de corriente de todos los componentes el sistema de iluminación automático y se elaboró un cuadro comparativo para verificar el cumplimiento con los requerimientos del sistema (ver anexo 18). Se seleccionó un regulador de tensión conmutado, específicamente del tipo Step-Down de Naylamp Mechatronics, cuya función es reducir el voltaje de entrada, puesto que suponen un ahorro de energía y mayor eficiencia (figura 10). Ver ficha técnica en anexo 19.



Figura 10. Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down
5A XL4005. Fuente: Naylamp Mechatronics

- Circuito integrado inversor DM7404

Como se observa en las especificaciones técnicas del relé (ver anexo 17), para activar la salida NO del relé se necesita 0V, eso significa que se requieren 5V para activar la salida NC. El Arduino proveerá constantemente 5V a los relés, sin embargo, las lámparas no pueden estar encendidas permanentemente, por ello se le implementó un inversor de señal lógica DM7404 de 6 puertas. De esta manera, el relé ya no permanecerá en estado NC innecesariamente, y se activarán las lámparas cuando el Arduino envíe una señal de 5V (figura 11). Ver ficha técnica en anexo 20.



Figura 11. Circuito integrado 7404

Sistema acondicionador para sensor PIR

Se sabe que el voltaje de salida de los sensores PIR es de 3.3 V y la tarjeta Arduino debe leer ese valor, sin embargo, el sensor no dará siempre brindará un valor exacto, la experiencia de los usuarios de dichos sensores indica que, debido a este problema, el sensor a veces se activa por sí mismo innecesariamente o, por el contrario, no se activa cuando el sistema lo requiere. Con la finalidad de resolver este inconveniente y darle más confiabilidad al sistema, se utilizó un circuito acondicionador de voltaje para evitar que el Arduino reciba señales incorrectas de comunicación debido a caídas de tensión provocadas por el sensor; dicho circuito incluye un amplificador operacional LM324 en modo comparador y un trimmer de 5K que funciona como divisor de tensión.

Se realizaron lecturas analógicas en el Arduino de solo 5V o 0V dependiendo de la entrada no inversora e inversora, brindando así un trabajo y medición adecuados. Ver cálculos y diagrama del circuito en anexo 21 y anexo 22, respectivamente.

Entradas y salidas del Arduino

Se determinaron las entradas analógicas y salidas digitales que se usarán de la tarjeta Arduino, como se visualiza en la tabla 4. Esta tabla también sirvió para la declaración de las variables cuando se realizó la programación del código en el software de Arduino. Las conexiones entre los sensores, actuadores y controlador se observan en el anexo 23. Se escogieron las salidas según las recomendaciones de Naylamp Mechatronics.

Tabla 4

Selección de entradas y salidas analógicas/digitales de Arduino

E/S	Dispositivo
Analógicas	
A4	BH1750 (SDA)
A5	BH1750 (SCL)
Digitales	
2	Relay 1 (r1)
3	Relay 2 (r2)
4	Relay 3 (r3)
5	PIR 3 (s3)
6	PIR 2 (s2)
7	PIR 1 (s1)

Diseño y fabricación de la placa de circuito impreso (PCB)

Una vez definidas las conexiones entre los componentes, se procedió a diseñar la placa para los componentes seleccionados. La placa de circuito impreso (PCB) se diseñó con ayuda del software DipTrace. Para ello, se tomaron las dimensiones de los componentes no encontrados en la biblioteca del programa como el Arduino, el módulo relé y el convertidor DC-DC. Posteriormente, se organizaron de tal manera que la parte de control esté lo más alejada posible de la zona de alto voltaje. Luego, se añadieron las pistas de enrutamiento para la conexión de todos los componentes. El diseño de la placa en el software se visualiza en el anexo 24.

Para su fabricación se seleccionó la placa de fibra de vidrio por ser más resistente que la baquelita. Se procedió a imprimir la PCB en tamaño real en papel glossy y se unió con la tarjeta, se aplicó acetona y luego se removió el sobrante de cobre con ácido férrico. Finalmente se lijó con una esponja de acero para quitar la tinta y sobrantes. Los agujeros para los pines se hicieron con broca 1/32. Para el montaje de los componentes en la placa se utilizó estaño y cautín. Las pistas de cobre destinadas a conectar relés y borneras reciben 220 V en corriente alterna, por lo que fueron reforzadas con cordón de estaño. Ver anexo 25

Instalación del sistema automatizado de iluminación

1) Se incorporó la placa con los componentes en la caja de paso de plástico de 200x200mm, la cual, fue atornillada en la pared de drywall bajo el medidor (ver anexo 26). 2) Se colocaron los sensores PIR en cajas de paso de 100x100x70mm atornilladas a la pared ordenadas de tal manera que la detección cubra 3 secciones diferentes del ambiente. 3) Se hizo la reconexión de las luminarias; para ello, se descubrió el cielo raso y se destaparon las cajas de paso de cada luminaria (ver anexo 27) y se agruparon las luminarias de dos en dos conectándolas en paralelo, esto con la finalidad de que el control de encendido/apagado sea por zonas; luego se conectaron los grupos de luminarias con su respectivo relé. 4) Se conectaron los sensores con las borneras predeterminadas de la PCB para la lectura de la señal. 5) Tanto el circuito de iluminación como el de detección expuesto fuera del cielo raso fue cubierto con canaletas de 2cm (ver anexo 28). El plano eléctrico con la implementación de los componentes se visualiza en el anexo 29.

Programación de la tarjeta Arduino

Previamente, se hizo la prueba con los sensores PIR y tanto la sensibilidad como el tiempo de duración del pulso se ajustaron al valor mínimo; esto debido a su gran ángulo de apertura y la obtención del correcto funcionamiento del código.

Una vez hecho esto, se procedió a declarar la librería para acceder al sensor de luz BH1750. Posteriormente se declararon las variables de los sensores y relés; después se realizó la configuración y la programación de ejecución cíclica. Se configuró de tal manera que cuando el sensor PIR detecte movimiento se active el relé correspondiente. Y cuando no exista detección el relé se desactive después de 60 segundos. Esto debido a que no es un sensor de presencia, sino de movimiento.

Para la aplicación correcta del sensor de luz BH1750, se consultó con la norma EM. 010 para instalaciones eléctricas interiores del Reglamento Nacional de edificaciones, el cual, determina que el rango adecuado del valor del nivel de iluminación para centros de enseñanza se encuentra entre los 300 y 500 lux (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006). Por lo tanto, se programó el sensor de tal manera que, cuando el valor baje de 300 lux dé opción a que los relés enciendan las lámparas, mientras que si detecta más de 350 lux impida

que los relés las activen. Para la programación de Arduino ver anexo 30. El funcionamiento de los componentes se representa por los diagramas de tiempos en el anexo 31. Como se aprecia, cada pulso del sensor PIR dura 1 segundo. Los pulsos seguirán contando durante 60 segundos mientras no se detecte otra detección, en caso contrario volverá a contar desde 0, como se aprecia en el segundo diagrama.

Finalmente, el diagrama general del sistema automatizado de iluminación se representa en la figura 12. Se muestra un esquema general de conexión entre los componentes que permiten la automatización de las luminarias.

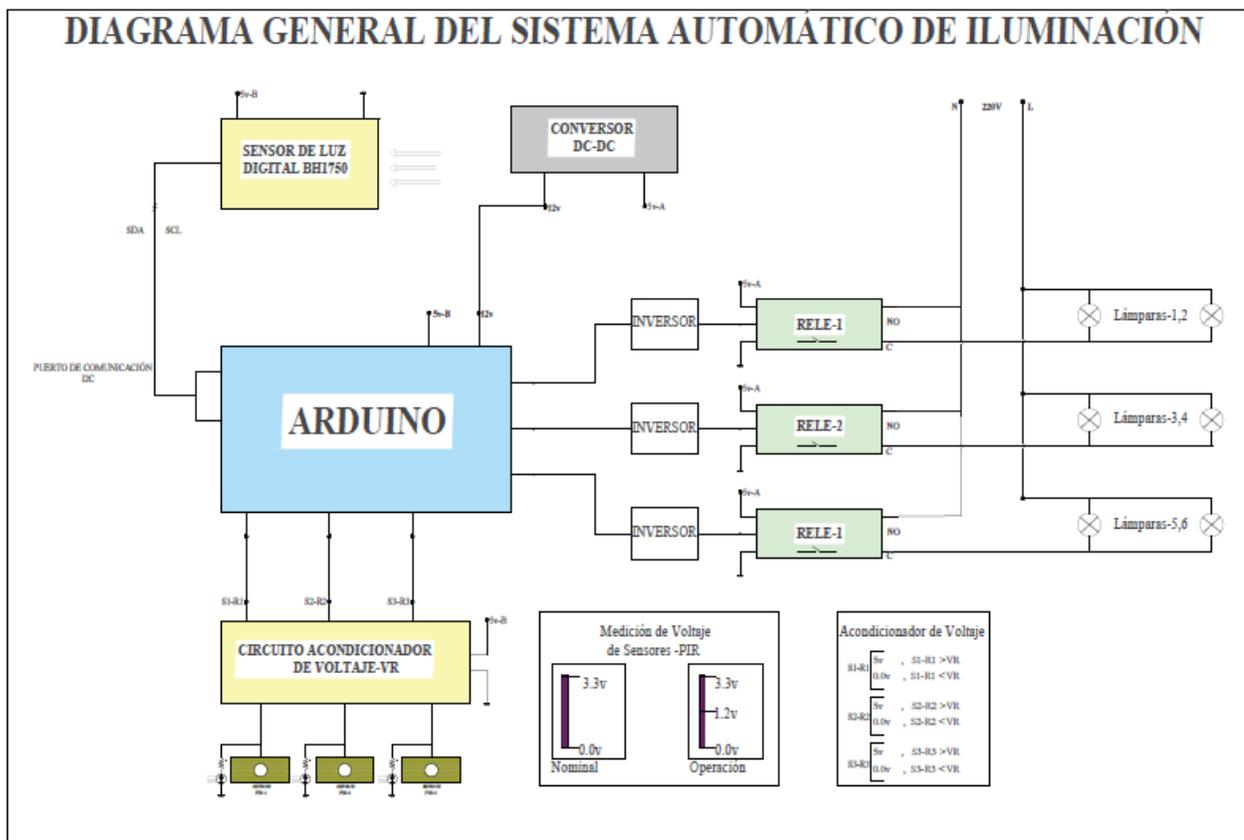


Figura 12. Diagrama general del sistema automatizado de iluminación (SAI). Elaboración propia

3.3. Evaluación de la eficiencia energética con el sistema implementado

En primer lugar, se debe mencionar que el coeficiente VEEI no fue modificado, ya que cumple con la norma del Código Técnico de la Edificación DB HE 3. Ahora bien, para obtención de datos confiables del consumo de energía generado por el nuevo sistema automático de iluminación se reconectó el medidor de energía activa monofásico de la marca TKL, al sistema automático. Luego de haber realizado la conexión se procedió a tomar apuntes en el registro de mediciones elaborado previamente para dicho estudio (ver anexo 3). Y se determinó que hubo un consumo energético semanal de 19.6 kWh. La toma de datos se realizó por una semana dos veces al día y las lecturas se presentarán en la figura 13.

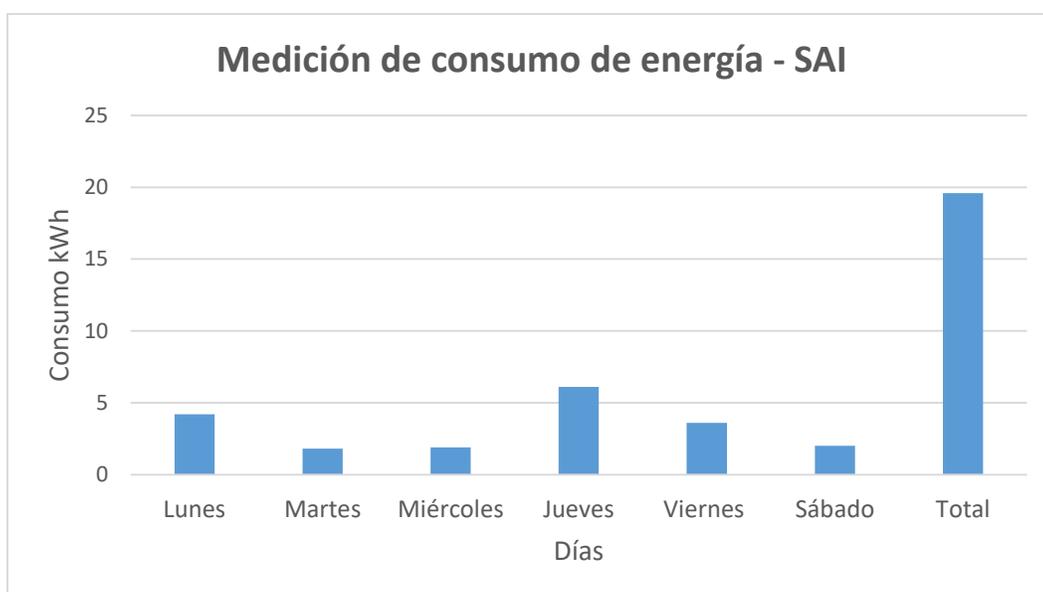


Figura 13. Medición de consumo de energía con el sistema automático de iluminación

Se procedió a realizar un gráfico comparativo con la finalidad de observar si el nuevo sistema implementado causó un efecto en el consumo de energía por parte de las luminarias con respecto a sistema inicial (ver figura 14).

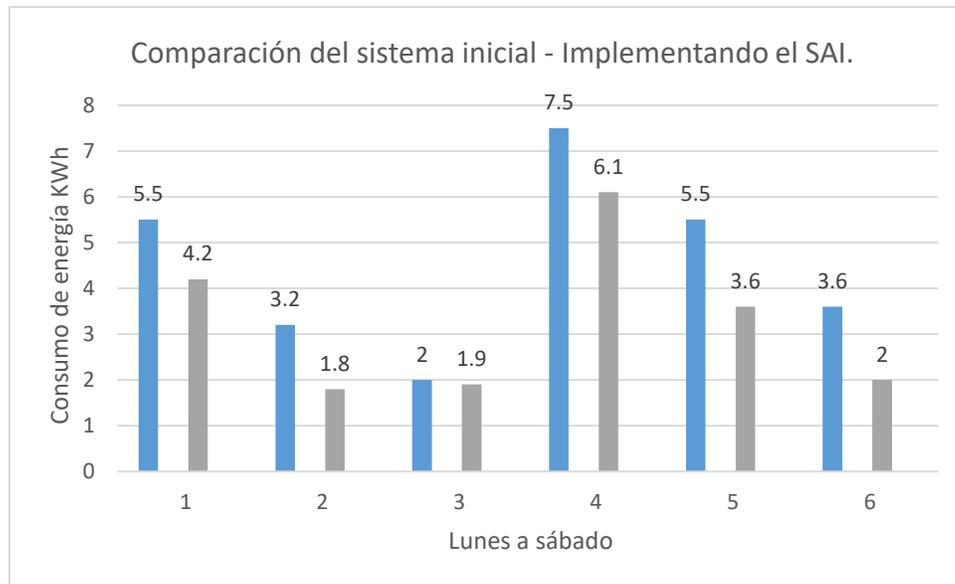


Figura 14 Gráfico comparativo de sistema inicial y sistema automático de iluminación.

Se muestra que al automatizar el sistema de iluminación los consumos de energía se redujeron con respecto al sistema no automatizado. En la representación las barras azules son datos de consumo de energía del sistema inicial y las barras grises son datos obtenidos por el medidor monofásico instalado ya antes mencionado.

Adicionalmente, se realizó un cálculo sencillo para determinar cuánto se redujo el consumo tras implementar el SAI respecto del sistema anterior y se obtuvo un ahorro energético de 28.2%.

$$\text{Consumo\% (SAI)} = \frac{19.6 * 100}{27.3} = 71.8\%$$

$$\text{Ahorro\%} = 100 - 71.8 = 28.2\%$$

3.4. Costo-beneficio de la propuesta

Se realizó un cálculo del costo de energía durante un año de operación de las luminarias. Para ello se obtuvo datos de potencia eléctrica total de las 24 lámparas de 14 watts, tiempo de operación según horarios de estudio (ver tabla 5). De acuerdo a esto, se procedió a determinar la energía eléctrica total consumida durante un año. Para luego obtener el costo de energía total.

Se realizó un cálculo con el dato registrado por el medidor monofásico de 27.3KWh durante una semana de operación de las 24 lámparas de 14watts. Llegando a obtener como resultado un consumo de energía eléctrica total durante un año de 1310.4 KWh. De acuerdo a esto poder calcular el costo de energía eléctrica total de 720.72 S/año. Ver Anexo 32.

La inversión de 348.3 soles se recuperará en dos años con un ROI de 16.72%. Como se puede observar en la figura 15, pasado un año de implementado el SAI se acumula de 203.28 soles por años. En cambio, pasado los dos años se recupera la inversión de 348.3 frente a un valor de beneficio de 406.56 soles. Ver anexo 33

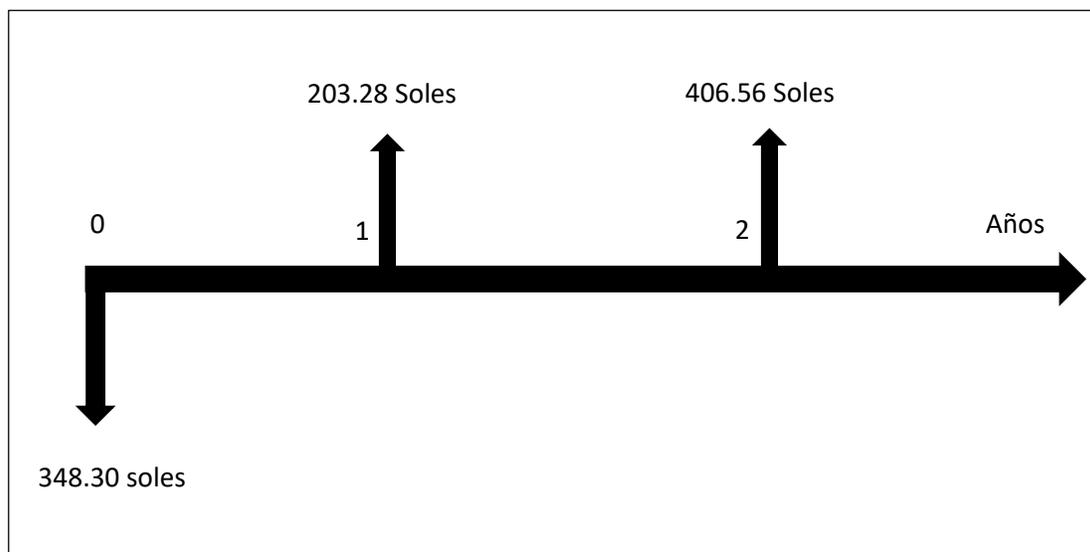


Figura 15. Periodo de recuperación de inversión.

IV. DISCUSIÓN

- Se comprueba que una de las causas de desperdicio de energía eléctrica radica en los malos hábitos y acciones, según lo mencionado por la International Copper Association Mexico (s.f.); pues, al observar el ambiente que se tomó como objeto de estudio, se percibió que las luminarias estaban encendidas aun cuando no había nadie ocupando el aula.
- Se determinó por medio del software DIALux que el aula del laboratorio de manufactura tiene una iluminancia de 382 lux, aunque el programa define este valor es adecuado para un aula, no cumple con el valor óptimo normado por la norma EM. 010 para centros de estudio, específicamente, aulas donde se realizan clases nocturnas. Dicho valor, no fue posible incrementar debido a dificultades económicas.
- Así como mencionó Jiménez (2014), en Perú se suele diseñar los sistemas de iluminación muy poco en base a criterios ingenieriles, lo que trae consigo sistemas deficientes y con iluminación inadecuada. Esto se ha visto parcialmente reflejado en el ambiente que se tomó como objeto de estudio, pues, aunque el VEEI del sistema de iluminación, cuyo valor es 2.79, no está fuera del rango adecuado según la norma CTE DB HE 3, la iluminancia no es la más adecuada, ya que el nivel de iluminancia óptimo para aulas para clases nocturnas es 500 lux.
- La selección de los sensores PIR concuerda con los indicados para la detección del movimiento, ya que se usó como guía la información que brinda la compañía Legrand especializada en la fabricación y distribución de sensores; también, mediante el cálculo se determinó que son adecuados para cubrir el ángulo de detección requerido. Así mismo, se concuerda con Sumper y Baggini (2012), quienes declaran que para la detección de movimiento se utilizan sensores infrarrojos, aptos para el control on/off en sistemas de iluminación.
- El sensor de luz digital BH1750 está seleccionado correctamente, pues cubre el rango de mediciones de iluminancia requerido para tomar lecturas de la iluminación en el ambiente. Así mismo, confirma con lo mencionado por Hilos (2008), Sumper y Baggini (2012), pues utilizando este sensor, resulta posible la medición continua del nivel de iluminación y, con una correcta regulación, armonizar la iluminación natural con la iluminación artificial.

- Merchán y Calderón (2018) seleccionaron para su sistema automatizado un controlador lógico programable (PLC) que gobernara los sensores, temporizadores y actuadores. En el presente proyecto, se seleccionó una tarjeta Arduino UNO porque es un controlador más compacto, es más amigable con el usuario en su programación y para su implementación implica menores costos. Para ejemplificar este hecho se toma el valor total del presupuesto para el sistema implementado: S/. 348.30. El que el coste mínimo de solo un PLC, sin actuadores ni sensores, en el mercado sea de S/ 400.00 supone un ahorro económico significativo. Y como se ha demostrado, el Arduino UNO es capaz de cumplir con las expectativas en automatización de iluminación. Por otra parte, en el presente trabajo no fue necesario seleccionar temporizadores, puesto que los sensores permitían el encendido solo cuando fuese necesario, además, los temporizadores no toman en cuenta el nivel de iluminancia adecuado para el ambiente, y requieren de reprogramación cada cierto tiempo. Por ello, no se seleccionaron temporizadores para el SAI.
- López y Mineros (2018) optaron por diseñar luminarias con un sistema automatizado integrado, la gran ventaja es que la lámpara contenida en el diseño era tipo led; este tipo de luminaria, tal como mencionaron Sumper y Baggini (2012), ofrece el mejor rendimiento en iluminación. En el presente trabajo, no se logra implementar lámparas de tipo LED, debido a que el modelo que exigía la luminaria instalada es costoso. Por otra parte, su sistema permitía la regulación del nivel de iluminación gracias a que los leds de baja potencia, es decir, en corriente continua (DC), son regulables mediante pulsos; lo cual, no fue posible en el presente proyecto, la razón, es que, al revisar la ficha técnica de las lámparas fluorescentes instaladas, figuran como no regulables. Por esta misma razón, aunque existen balastos que contienen fotocélulas, los cuales, ofrecen atenuación de luz artificial automática según la disponibilidad de luz natural y suponen un gran ahorro energético, no fue posible aplicarlos en la implementación del SAI.
- Se comprueba que, tal como mencionaron Hilos (2008), Sumper y Baggini (2012), generalmente los fabricantes diseñan balastos de atenuación de luz para que se adapten a las lámparas fluorescentes compactas (CFL). Esto se vio reflejado en la ficha técnica del tipo de la lámpara fluorescente instalada en el aula, la cual es de tubo, y no es regulable.

- Parte de los autores que fundamentan los antecedentes el presente trabajo lograron disminuir el consumo energético, como es el caso de Contreras (2015), de quien su sistema logró disminuir el consumo energético en viviendas en un 21%. Con la implementación propuesta en este trabajo, se pudo comprobar que sí es posible mejorar la eficiencia energética del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche, pues, el consumo se logró optimizar significativamente (28.2%), como se vio plasmado en los resultados. Por lo tanto, se confirma lo que propusieron dichos autores.

V. CONCLUSIONES

- 1) Tras realizar el análisis y simulación mediante el software DIALux del sistema de iluminación inicial del aula del laboratorio de manufactura, se logró determinar el valor del coeficiente Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI), y se obtuvo un valor de $2.79 \text{ W/m}^2/100 \text{ lux}$. Adicionalmente, después de registrar las lecturas del consumo de energía por una semana con ayuda del medidor monofásico, se obtuvo una suma de 27.6Kh/semana.
- 2) Para el diseño del sistema automatizado de iluminación se seleccionaron 3 sensores PIR HC-SR501 para detectar ocupación y un sensor de luz digital BH1750 para detectar niveles de iluminancia. Ambos, se comunican con un Arduino UNO que envía órdenes de apertura o cierre de los relés que accionan las luminarias. El sistema, que se encuentra montado en una PCB, funciona de tal manera que las luminarias se encienden por zonas cuando se detecta movimiento, solo cuando es necesario. Así mismo, permite que exista un nivel adecuado de iluminación, armonizando tanto la luz natural, como la luz artificial.
- 3) El valor del coeficiente VEEI del sistema de iluminación no fue modificado debido a dificultades económicas, además, cumple con los límites establecidos para aulas y laboratorios por la norma del CTE DB HE 3. Sin embargo, el consumo se redujo a 19.6 kWh/semana y se obtuvo un ahorro energético de 28.2%
- 4) Para determinar el costo-beneficio económico se volvió a tomar lecturas del medidor por una semana, esta vez con el sistema automatizado implementado. A partir de ello, se estimó el costo anual por consumo energético y se comparó con el costo anual por consumo energético del sistema sin implementar. Se determinó un beneficio económico de S/. 406.56 y un retorno de inversión (ROI) del 16.72%, el cual, se recuperará en 2 años.

V. RECOMENDACIONES

- Debido a que se hizo una prueba para el sistema iluminación del aula de laboratorio de manufactura del CIT UCV, Moche valiéndose del software DIALux y se determinó que no cumplía con los niveles óptimos de iluminancia para lugares donde se realizan clases nocturnas, se sugiere comprobar que los ambientes de la Universidad César Vallejo cumplan con las normas aplicadas a sistemas de iluminación, puesto que esto influye en el rendimiento de los alumnos, docentes y personal que labora en el CIT UCV, Moche. En caso exista incumplimiento de la norma, se deberán reajustar los sistemas de iluminación dependiendo del trabajo a realizar.
- Se recomienda implementar en el sílabo de la asignatura de instalaciones eléctricas, perteneciente a la carrera profesional de ingeniería mecánica eléctrica, conocimientos sobre fotometría, así como estudios de casos de posibilidad de mejora en los sistemas de alumbrado, con la finalidad de que los alumnos estén más comprometidos con la búsqueda de alternativas que optimicen el uso de la energía destinada a iluminación.
- Se recomienda tomar en consideración el uso de sistemas DALI (Interfaz de Iluminación Digital Direccionable), ya que esta tecnología inteligente permite un control centralizado de toda la iluminación en una edificación, y resultaría muy útil para automatizar los sistemas de iluminación en las instalaciones de la Universidad César Vallejo, tanto en el CIT Moche, como en el campus Trujillo. Al mismo tiempo, se puede incluir el uso de tubos fluorescentes regulables, como aquellos asociados a reactancias electrónicas regulables mediante balastos compatibles con DALI, ya que las montadas actualmente funcionan con descarga de gas y esto les imposibilita una correcta regulación. Por otro lado, ya existen lámparas LED que funcionan en DC compatibles con este tipo de sistema. Este cambio, supondría un gran ahorro energético y económico, así como la conservación de la vida útil de las lámparas.
- Por último, se recomienda implementar el sistema de control automático propuesto en este trabajo para los demás ambientes del CIT UCV, Moche, al mismo tiempo que se añaden sensores de ultrasonido para optimizar la precisión al detectar ocupación, sobre todo en áreas con más mobiliaria. También es posible añadir lámparas de tipo LED con alimentación en DC. Adicionalmente, se deben reconectar los circuitos de iluminación con el fin de sectorizar el alumbrado por zonas y utilizar solo la energía necesaria.

REFERENCIAS

- Branco, A. (2019, 25 de abril). Ahorra en la iluminación de tu hogar con estos 10 consejos. *EL ESPAÑOL*. Recuperado de https://www.elespanol.com/omicron/software/20190425/ahorra-iluminacion-hogar-consejos/393711998_0.html
- Contreras, M. (2015). *Sistema de iluminación con un programa controlador para reducir el consumo de energía eléctrica en residencias* (tesis de maestría). Recuperado de <file:///C:/Users/computer/Desktop/POYECTO%20DE%20INVESTIGACION-I/Contreras%20Canto.pdf>
- DIAL. (2019). *Diseño de iluminación profesional con DIALux*. Recuperado de <https://www.dial.de/es/dialux-desktop/download/>
- Enríquez, G. (2005). *Manual práctico del alumbrado*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=czh4uoBxun8C&dq=sistema+de+iluminaci%C3%B3n&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Espinoza, I. (2016). Tipos de muestreo: Muestreo no probabilístico. Recuperado de <http://www.bvs.hn/Honduras/Embarazo/Tipos.de.Muestreo.Marzo.2016.pdf>
- European Lamp Companies Federation (2007). *The European lamp industry's strategy for domestic lighting Frequently asked questions & answers on energy efficient lamps*. Recuperado de https://www.esmap.org/sites/default/files/esmap-files/52.%20ELCF_FAQ_on_CFLs_final.pdf
- Expok (22 de abril de 2015). En México, la iluminación representa el 40% de la energía consumida en el hogar. *Expok. Comunicación de Sustentabilidad y RSE*. Recuperado de <https://www.expoknews.com/en-mexico-la-iluminacion-representa-el-40-de-la-energia-consumida-en-el-hogar/>
- FCEdiciones. (Ed.). (2011). *Código Técnico de la Edificación*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=JvdwAAQBAJ&dq=UNE+EN+60598+1:1998&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Folguera, E. y Muros, A. (2013). *La iluminación artificial es arquitectura*. Barcelona, España: EDICIONES UPC
- Gallegos, J. (2018). *Ahorro energético en iluminación mediante tecnología LED*. Iluminet. Recuperado de <https://www.iluminet.com/ahorro-energetico-iluminacion-led/>

- González, J., González, J. y García, V. (2016). *UF0567: Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=sdKNCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true
- Guo, L. (2008). *Intelligent road lighting control systems: experiences, measurements, and lighting control strategies* (tesis de grado). Recuperado de <http://www.lib.tkk.fi/Diss/2008/isbn9789512296200/article2.pdf>.
- Halpeth, M. K., Senthil, T. y Harikumar, G. (Eds.). (2005). *Light Right. A practising engineer's manual on energy-efficient lighting*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=ZoLC0vgtewwC&dq=energy+efficiency+lighting&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Punta Santa Fe, México: McGRAW-HILL.
- Huamán, J. (2017). *Control inteligente de sistemas e iluminación en edificios* (tesis de maestría).
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. (2017). *Documento básico HE. Ahorro de energía*. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación*. Oficinas. Recuperado de https://www.idae.es/sites/default/files/publications/online/231/Oficinas_opf_files/pdfs/oficinasok2.pdf
- International Copper Association Mexico. (s.f.). *El desperdicio de energía en el hogar*. Recuperado de <http://programacasasegura.org/mx/el-desperdicio-de-energia-en-el-hogar/>
- International Energy Agency. (2008). *Light's Labour's Lost. Policies for Energy-efficient Lighting. In support of the G8 Plan of Action*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/a2c2/b9701aed27bfa36679963cfd86529fe99ddb.pdf>

- Jiménez, C. (2004). *Manuales de Luminotecnia: Luz, Lámparas y Luminarias*. México: El Manual Moderno.
- Lanao, D. (2015). *Diseño y desarrollo de un sistema de iluminación automatizado para el hogar usando tecnología Zigbee y controlado inalámbricamente desde un servidor web* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/ed91/a59fab846510ef4a445e57706fa43ac8d66e.pdf>
- López, D. y Mineros, D. (2018). Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación. *Enfoque UTE*, 9(1), 226-235. doi: 10.29019/enfoqueute.v9n1.283
- Martín, S. (2015). *Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior (UF0567)*. España: Elearning.
- Merchán, W. y Calderón, E. (2018). Generalidades de iluminación y componentes para el sistema automático de iluminación, 23-34, 36-40.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Recuperado de <https://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- Moreno, L., Sosa, J. y Gudiño, J. (2015). Análisis técnico-económico de las ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes y las lámparas fluorescentes compactas. *Ciencia e Ingeniería*, 37(3), 1-17. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5075/507551271009/index.html>
- Mottier, P. (Ed.). (2010). *LED for Lighting Applications*. doi: 10.1002/9780470612019
- Oliva iluminación. (2018). *Manual práctico de iluminación*. Recuperado de <https://olivailuminacion.com/media/pdf/descargas/Manual-de-iluminacion-2018.pdf>
- Parella, S. y Martins, F. (2012). Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas, Venezuela: FEDUPEL
- Parada, P., Ilera, B., Sepúlveza, M., Guevara, D. y Medina, B. (2016). Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia. *Tecnura*, 20(49), 120-132. doi: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a08>

- Pascual, K. (2019, 29 de agosto). Plantea cambiar paradigma enfrentar alto consumo energía. *Hoy Digital*. Recuperado de <https://hoy.com.do/plantea-cambiar-paradigma-enfrentar-alto-consumo-energia/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2018). *Aceleración de la adopción mundial de la iluminación energéticamente eficiente*. Recuperado de <https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/04/Lighting-Policy-Guide-Spanish-20180201.pdf>
- Rodas, G. (2005). *Iluminación eficiente mediante software Dialux en biblioteca central de la Universidad de Piura* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe>
- Salivahanan, S. y Suresh, N. (2018). *Electronic Circuits-I*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=gUeIDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Short, T. A. (2004). *Electric Power Distribution Handbook*. Recuperado de <https://goodboygunawan.files.wordpress.com/2010/03/electric-power-distribution-handbook.pdf>
- Simpson, R. S. (2003). *Lighting Control – Technology and Applications*. Oxford, UK: Focal Press
- Soper, M. W. (2005). *Absolute Beginner's guide to Home Automation*. Indiana, Estados Unidos: Que Publishing
- Sumper, A. y Baggini, A. (2012). *Electrical energy efficiency. Technologies and applications*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=eiN7JEusu_EC&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Redalyc.org*.33(1),155-165.
- Yusta, J. M. (2013). *Contratación del suministro eléctrico*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo
- Zumtobel Lighting. (2018). *The Lighting Handbook*. Recuperado de <https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/EN/lichthandbuch.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Norma técnica EM.010. Reglamento nacional de edificaciones

PERÚ		Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento		Viceministerio de Construcción y Saneamiento		Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento		Dirección de Construcción	
2. EDUCACIÓN									
Nº ref.	Tipo de interior, tarea o actividad	Em lux	UGR _L	U ₀	R _a	Requisitos específicos			
	Sala de juegos	300	22	0.40	80	Debe evitarse altas luminancias en las direcciones de visión desde abajo mediante la utilización de coberturas difusas			
	Guarderías	300	22	0.40	80	Debe evitarse altas luminancias en las direcciones de visión desde abajo mediante la utilización de coberturas difusas			
	Sala de manualidades	300	19	0.60	80				
	Aulas de profesores	300	19	0.80	80	La iluminación debe ser controlable			
	Aulas para clases nocturnas y de educación de adultos	500	19	0.80	80	La iluminación debe ser controlable			
	Salas de lectura	500	19	0.60	80	La iluminación debe ser controlable para colocar varias AV necesarias			
	Zona de pizarra	500	19	0.70	80	Deben evitarse las reflexiones especulares El presentador/profesor debe iluminarse con la luminancia vertical adecuada			
	Mesa de demostraciones	500	19	0.70	80	En salas de lectura 750 lx			
	Locales de artes y oficios	500	19	0.60	80				
	Locales de artes (en escuelas de arte)	750	19	0.70	80	5 000 K ≤ T _{CP} < 6 500 K			
	Salas de dibujo técnico	750	16	0.70	80				
	Locales de prácticas y laboratorios	500	19	0.60	80				
	Aulas de manualidades	500	19	0.60	80				
	Taller de enseñanza	500	19	0.60	80				
	Locales de prácticas de música	300	19	0.60	80				
	Locales de prácticas de computación	300	19	0.60	80				
	Laboratorio de idiomas	300	19	0.60	80				
	Locales y talleres de preparación	500	22	0.60	80				
	Vestíbulo de entrada	200	22	0.40	80				
	Áreas de circulación, pasillos	100	25	0.40	80				
	Escaleras	160	25	0.40	80				
	Locales comunes de estudiantes y salas de reuniones	200	22	0.40	80				
	Locales de maestros	300	19	0.60	80				
	Biblioteca: estanterías	200	19	0.60	80				
	Biblioteca: áreas de lectura	500	19	0.60	80				
	Almacenes de material de profesores	100	25	0.40	80				
	Salas deportivas, gimnasios y piscinas	300	22	0.60	80	En caso de no existir norma internacional véase la Norma EN 12193 para las condiciones de entretenimiento			
	Cocina	500	22	0.60	80				



Anexo 2. Ficha de recolección de datos

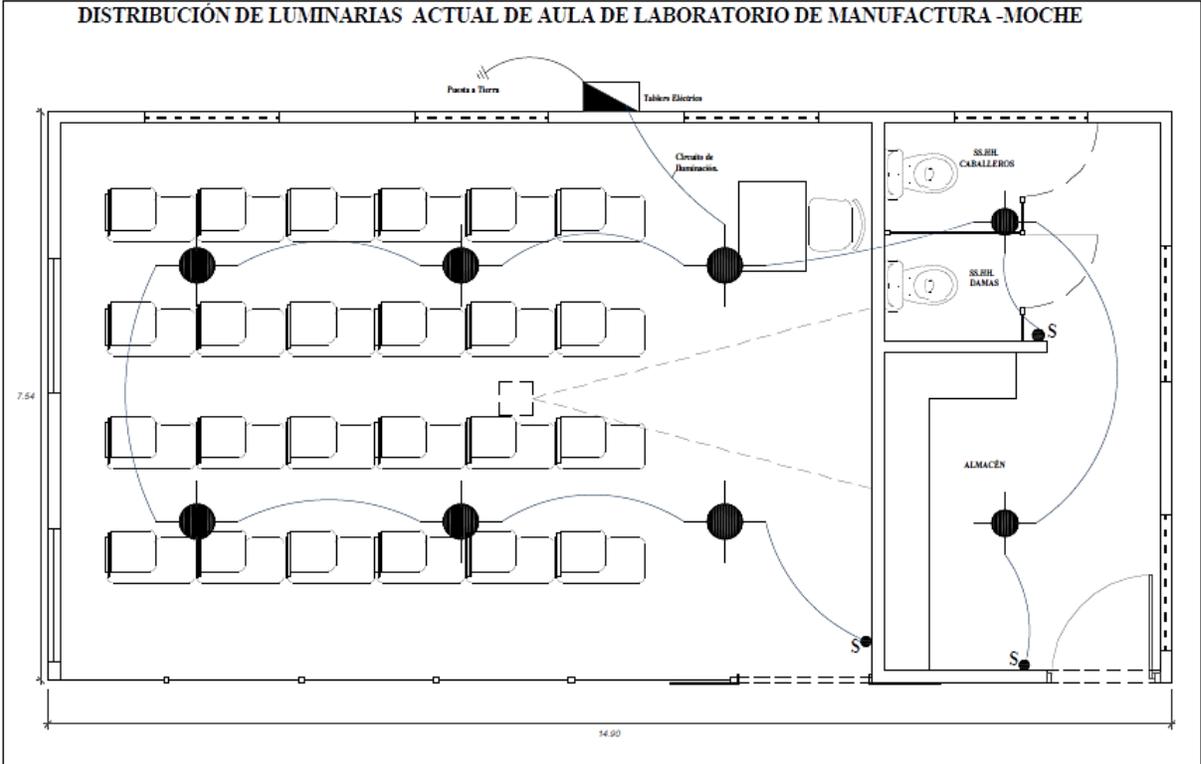
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA SIMULAR EN PROGRAMA DIALUX						
Dimensiones del aula(m)			Luminaria			
Largo	Ancho	Alto	Tipo	Marca	Lámpara	Potencia (W)
7.22	4.94	2.80	TBS165	Philips	4XTL5-14W/865	61.0W
Contexturas del aula			Iluminancia (Lux)		Altura de trabajo	
Piso	Techo	Paredes	Mín.	Máx.		
Mayólica (Blanca)	Cielo Razo (Blanco)	Pintura Color Blanco	300	500	0.80	

Anexo 3. Registro de mediciones

REGISTRO DE MEDICIONES - MEDIDOR DE ENERGÍA ACTIVA SISTEMA ACTUAL				
Lugar	Laboratorio de Manufactura - UCV Moche		Investigadores	Castillo Fiestas, Jordan Joel
				Tumbajulca Alvites, Milder Carlitos
Tarea	Tomar nota de las lecturas del medidor de energía activa según el día y hora correspondiente (KWh)			
Total (KWh)			CONSUMO DE ENERGÍA (KWh)	
Fecha			Hora Inicio	Hora Final
Día	Mes	Año	08:00am	18:00pm
Martes	11	2019	0.3	3.5
Miércoles	11	2019	3	5
Jueves	11	2019	5	12.5
Viernes	11	2019	12.9	18.4
Sábado	11	2019	18.5	22.1
Lunes	11	2019	22.1	27.6
Recomendaciones:.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

REGISTRO DE MEDICIONES - MEDIDOR DE ENERGÍA ACTIVA SISTEMA AUTOMÁTICO DE ILUMINACIÓN				
Lugar	Laboratorio de Manufactura - UCV Moche		Investigadores	Castillo Fiestas, Jordan Joel
				Tumbajulca Alvites, Milder Carlitos
Tarea	Tomar nota de las lecturas del medidor de energía activa según el día y hora correspondiente (KWh)			
Total (KWh)			CONSUMO DE ENERGÍA (KWh)	
Fecha			Hora Inicio	Hora Final
Día	Mes	Año	08:00am	18:00pm
Miércoles	11	2019	98.7	100.6
Jueves	11	2019	100.3	106.4
Viernes	11	2019	106.5	110.1
Sábado	11	2019	110.2	112.2
Lunes	11	2019	112.2	116.4
Martes	11	2019	116.5	118.3
Recomendaciones:.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

Anexo 4. Plano de distribución de luminarias



Anexo 5. Ficha técnica de lámparas PHILIPS



Marca: Philips

Número de modelo: TL5C

Clasificación de color: T2-14w luz blanca 865 (6500K) incluyendo longitud de aguja (56.3 cm)

Voltaje: 220V

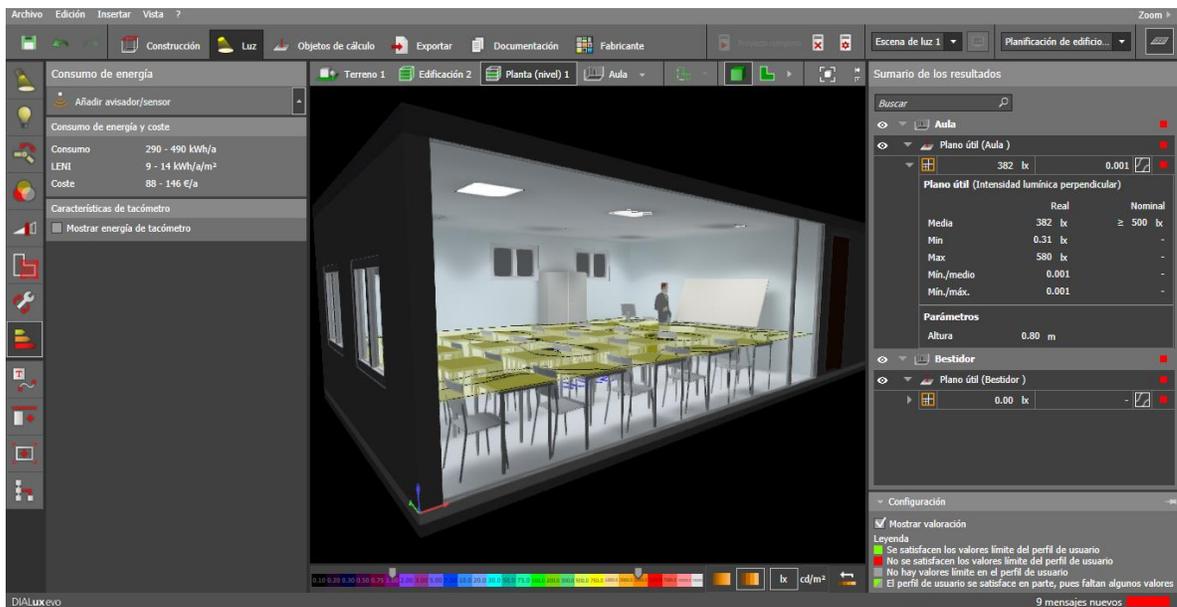
Control: No regulable

Conector de lámpara: T5

标准型T5超细直管荧光灯

产品型号	功率 (W)	颜色	光通量 (lm)	色温 (K)	显色指数 (Ra)	灯头型号	平均寿命 (h)	直径 (mm)	全长 (mm)
TL'5 Essential 14W/830	14	暖白色	1350	3000	85	G5	20000	17	563.2
TL'5 Essential 14W/840	14	暖白色	1350	4000	85	G5	20000	17	563.2
TL'5 Essential 14W/865	14	白色	1260	6500	85	G5	20000	17	563.2
TL'5 Essential 21W/830	21	暖白色	2100	3000	85	G5	20000	17	863.2
TL'5 Essential 21W/840	21	暖白色	2100	4000	85	G5	20000	17	863.2
TL'5 Essential 21W/865	21	白色	1900	6500	85	G5	20000	17	863.2
TL'5 Essential 28W/830	28	暖白色	2900	3000	85	G5	20000	17	1163.2
TL'5 Essential 28W/840	28	暖白色	2900	4000	85	G5	20000	17	1163.2
TL'5 Essential 28W/865	28	白色	2700	6500	85	G5	20000	17	1163.2

Anexo 6. Simulación de iluminación del aula del laboratorio de manufactura del CIT-UCV, Moche mediante software DIALux



Anexo 7. Resultados de análisis fotométrico del aula del laboratorio de manufactura mediante software DIALux

Altura interior del local: 2.800 m, Grado de reflexión: Techo 70.0%, Paredes 85.4%, Suelo 84.4%, Factor de degradación: 0.80

Plano útil

Superficie	Resultado	Media (Nominal)	Min	Max	Mín./medio	Mín./máx.
1 Plano útil (Aula)	Intensidad lumínica perpendicular (Adaptativamente) [lx] Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	382 (≥ 500)	0.31	580	0.001	0.001

# Luminaria	Φ(Luminaria) [lm]	Potencia [W]	Rendimiento lumínico [lm/W]
5 Philips - TBS165 G 4xTL5-14W HFS C3	3117	61.0	51.1
1 Philips - TBS165 G 4xTL5-14W HFS C3	3117	61.0	51.1
Suma total de luminarias	18702	366.0	51.1

Potencia específica de conexión: $10.66 \text{ W/m}^2 = 2.79 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superficie de planta de la estancia 34.34 m^2)

Consumo: 290 - 490 kWh/a de un máximo de 1250 kWh/a

Las magnitudes de consumo de energía no tienen en cuenta escenas de luz ni sus estados de atenuación.

Anexo 8. Ficha técnica de medidor de energía



Medidor Eléctrico Monofásico 60AMP
Tkl 103586

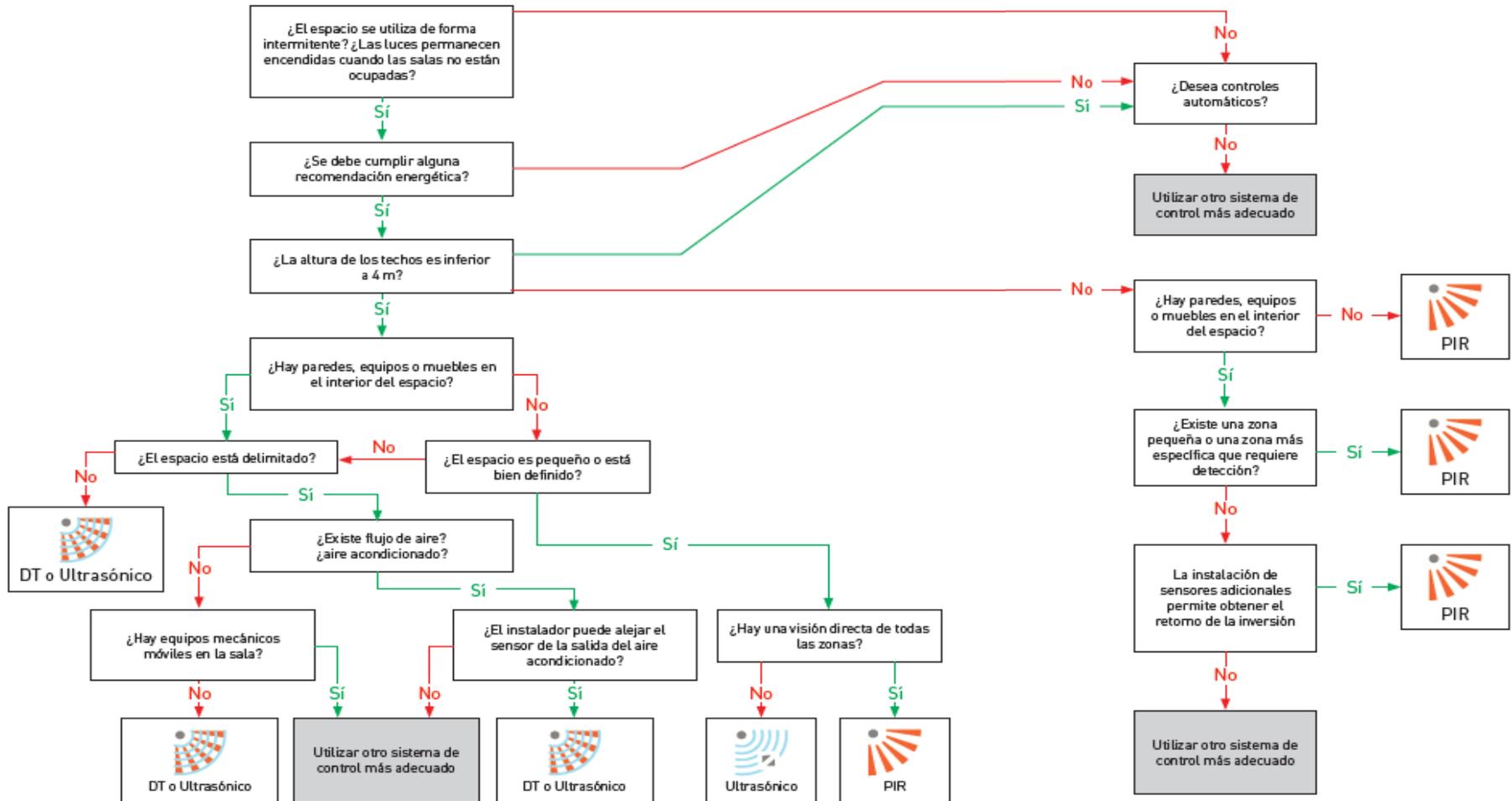


FICHA TÉCNICA

Modelo Monofásico	Tipo Medidor electrónico
Ancho (Cm) 11 cm	Profundidad (Cm) 6 cm
Alto (Cm) 16 cm	Material Metal / Plástico
Color Blanco	Marca Tkl
Advertencia de uso Si el dispositivo presenta algún desperfecto apenas sacado del empaque y/o presenta etiqueta de seguridad o testeado, comuníquese de inmediato con su distribuidor.	Garantía 1 Año

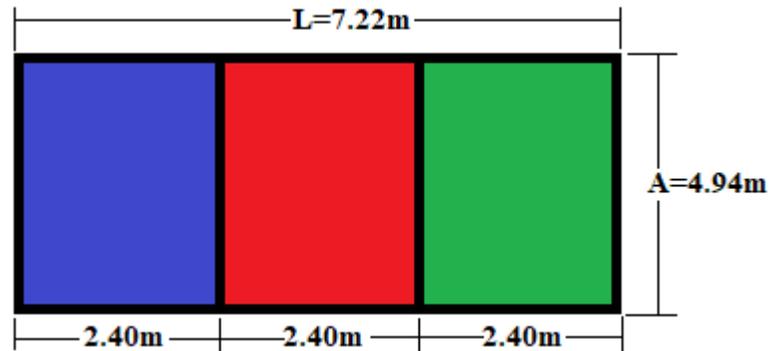
<https://www.promart.pe/medidor-electronico-monofasico-60-amp/p>

Anexo 9. Diagrama para selección de tecnología de detección. Legrand

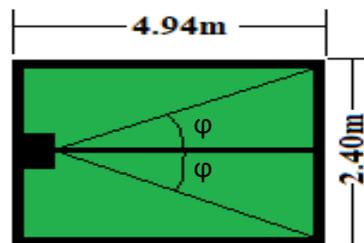


Anexo 10. Cálculo para la selección del sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501

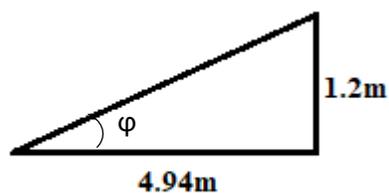
Dimensiones del aula



Se dividió el aula en tres partes iguales, con la finalidad de determinar cuántos sensores de movimiento son necesarios. En la cual cada sensor tenía un área determinada de detección como se muestra en la figura.



Cálculo del ángulo de detección requerido



$$\text{tang}\varphi = \frac{1.2}{4.94}$$

$$\varphi = \text{arctang}\left(\frac{1.2}{4.94}\right)$$

$$\varphi = 13.6535 \approx 14^\circ$$

Ángulo total de detección del sensor

$$\text{Ángulo total} = 2\varphi$$

$$\text{Ángulo total} = 2 \times 14^\circ$$

$$\text{Ángulo total} = 28^\circ$$

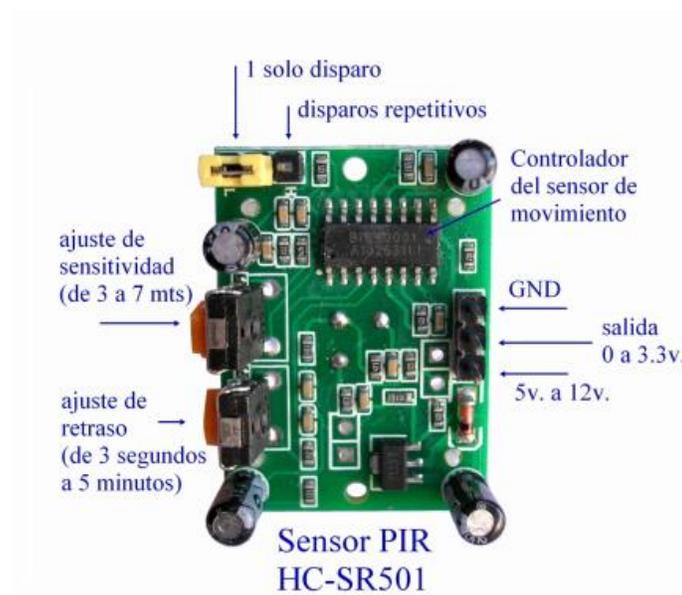
Requerimientos para el diseño	Sensor PIR HC-SR501
Angulo 28°	Angulo de detección 110°
Distancia de 4.94m	Distancia de 3 a 7m
Configurable (Procesador)	$3s \leq Tr \leq 5min$
Temperatura promedio Trujillo	Temperatura de operación -15 a +75°C
-----	Consumo promedio < 1mA
Voltaje 5VDC	Voltaje de 5 a 12VDC

Anexo 11. Especificaciones técnicas del Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501

- Usa el PIR LHI778 y el controlador BISS0001
- Voltaje de alimentación: de 5 a 12 VDC
- Consumo promedio: <1 mA
- Rango de distancia de 3 a 7 metros ajustable.

Angulo de detección: cono de 110°

- Ajustes: 2 potenciómetros para ajuste de rango de detección y tiempo de alarma activa.
- Salida de alarma de movimiento con ajuste de tiempo entre 3 segundos a 5 minutos.
- Salida de alarma activa Vo con nivel alto de 3.3 volts y 5 ma source, lista para conexión.
- Tiempo de inicialización: después de alimentar el módulo HC-SR05, debe transcurrir 1 minuto antes de que inicie su operación normal. Durante ese tiempo, es posible que el módulo active 2 o 3 veces su salida.
- Tiempo de salida inactiva: cada vez que la salida pase de activa a inactiva, permanecerá en ese estado los siguientes 3 segundos. Cualquier evento que ocurra durante ese lapso es ignorado.
- Temperatura de operación: -15° a +70° C.
- Dimensiones: 3.2 x 2.4 x 1.8 cm



<https://puntoflotante.net/MANUAL-DEL-USUARIO-SENSOR-DE-MOVIMIENTO-PIR-HC-SR501.pdf>

Anexo 12. Selección para el sensor de luz digital BH1750

Requerimientos para el diseño	Sensor de luz digital BH1750
Medida Lux < 300 a 500lux	Rango de medición 1 a 65535lux
-----	I2C
Voltaje 5V	Voltaje de 3 a 5V
-----	Consumo 7mA

Anexo 13. Especificaciones técnicas de módulo sensor de luz digital BH1750

- Voltaje de Operación: 3V – 5V
- Interfaz digital a través de bus I2C con capacidad de seleccionar entre 2 direcciones
- Respuesta espectral similar a la del ojo humano
- Realiza mediciones de iluminancia y convierte el resultado a una palabra digital
- Amplio rango de medición 1-65535 lux
- Modo de bajo consumo de energía
- Rechazo de ruido a 50/60 Hz
- Baja dependencia de la medición contra la fuente de luz: halógeno, led, incandescente, luz de día, etc.



https://naylampmechatronics.com/171-large_default/modulo-sensor-de-luz-digital-bh1750.jpg

Anexo 14. Selección de tarjeta Arduino Uno R3

Requerimientos para el diseño	Arduino UNO (Procesador)
Protocolo de comunicación I2C	Protocolo I2C
2 entradas analógicas	6 entradas analógicas
6 pines digitales	14 pines digitales
Memoria de programa 7588 bytes	Memoria de programa 32256 bytes
Memoria dinámica 478 bytes	Memoria dinámica 2048 bytes
Voltaje 5V	Voltaje 5V
----	Consumo de energía 40mA

Anexo 15. Especificaciones técnicas de Arduino UNO

- Microcontrolador: ATmega328P
- Chip USB: ATmega16U2
- Voltaje de Operación: 5V
- Voltaje de alimentación: 6-20V (7-12V recomendado)
- Pines digitales I/O: 14 (6 salidas PWM)
- Entradas analógicas: 6
- Corriente máxima entrada/salida: 40mA
- Memoria flash: 32K
- Memoria SRAM: 2K
- Memoria EEPROM: 1K
- Velocidad de reloj: 16Mhz



https://naylampmechatronics.com/arduino-tarjetas/8-arduino-uno-r3-00008.html?search_query=arduino&results=257

Anexo 16. Selección del módulo Relay

- Cálculo de intensidad Nominal de dos luminarias.

$$I_n = \frac{N \times CL \times (PI)}{V}$$

Donde

N: Número de luminarias

CL: Cantidad de lámparas por luminaria.

PI: Potencia de lámpara unitaria (W)

V: Voltaje de operación de las lámparas (voltios)

$$I_n = \frac{2 \times 4 \times 14}{220}$$

$$I_n = 0.5A$$

Se aplica un factor de seguridad para el diseño de FS = 1.5

$$I_D = I_n * F. S.$$

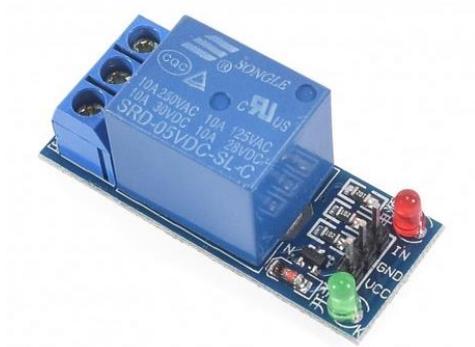
$$I_D = 0.5A * 1.5$$

$$I_D = 0.76 A$$

Requerimientos para el diseño	Módulo Relay 1CH-5VDC
Intensidad de 0.76 A	Intensidad 10 A
Voltaje de 220AC	Capacidad máxima 250AC
Voltaje de operación 5V	Voltaje de operación 5V
—	Consumo 50mA

Anexo 17. Especificaciones técnicas del módulo relay 1CH 5VDC

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V)
- N° de Relays (canales): 1 CH
- Capacidad máx: 10A/250VAC, 10A/30VDC
- Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC)
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms
- Para activar salida NO: 0 Voltios



https://naylampmechatronics.com/drivers/297-modulo-relay-1-canal-5vdc.html?search_query=relay&results=28

Anexo 18. Consumo de intensidad para la selección de convertor de voltaje DC-DC step down

Nombre de elemento	Consumo (mA)	Alimentación (V)	Cantidad	(mW)
Sensor PIR	1	5	3	15
Sensor de luz	7	5	1	35
Arduino Uno	40	5	1	200
Circuito Acondicionador	50	5	1	250
Relays	50	5	3	750
Total	250			1250

De acuerdo a esto se elaboró el cuadro de requerimientos para el diseño.

Requerimientos para el diseño	Convertor DC-DC
Alimentación 12V salida del Arduino	Voltaje de entrada 5 a 32V DC
Voltaje de salida de 5V	Voltaje de salida de 0.8V a 30V DC
Corriente de salida 250mA	Corriente máx. de 4.5 A
	Rendimiento de conversión 96%

Anexo 19. Especificaciones técnicas del convertidor de voltaje DC-DC step-down 5A XL4005

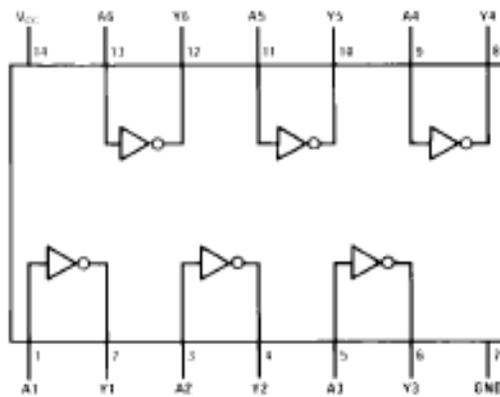
- Convertidor DC-DC Buck: XL4005
- Voltaje de entrada: 5.0V a 32V DC
- Voltaje de salida: 0.8V a 30V DC
- V. Salida ajustable (el voltaje de entrada debe ser por lo menos 1.5V mayor que la salida)
- Corriente de salida: 5A máx., 4.5A recomendado (usar disipador para corrientes mayores a 2.5A)
- Potencia de salida: 50W-70W
- Eficiencia de conversión: 96% máx.
- Regulación de carga: $S(I) \leq 0.8\%$.
- Regulación de voltaje: $S(u) \leq 0.8\%$.
- Frecuencia de Trabajo: 300KHz
- Ripple en la salida: 50mV (máx.) 20MHz bandwidth
- Protección de sobre-temperatura: SI (apaga la salida)
- Protección de corto circuito: SI (hasta 8A)
- Protección limitadora de corriente: SI
- Protección frente a inversión de polaridad: NO
- Dimensiones: 43mm*21mm*13mm



https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/49-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-5a-xl4005.html?search_query=convertidor+dc+dc&results=178

Anexo 20. Ficha técnica de inversor DM7404

Connection Diagram



Function Table

$$Y = \bar{A}$$

Inputs	Output
A	Y
L	H
H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	5.5V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

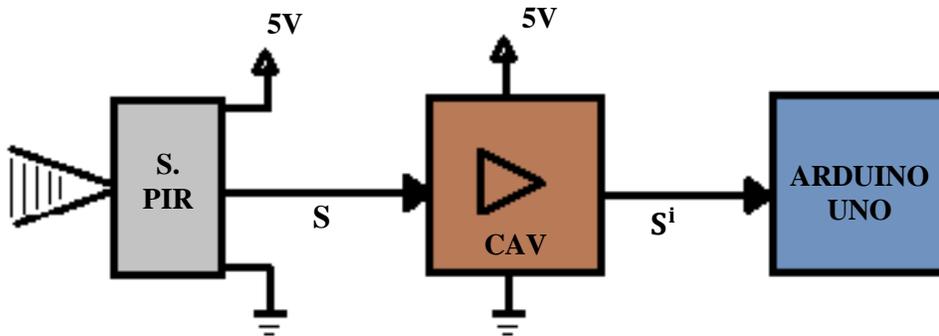
Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

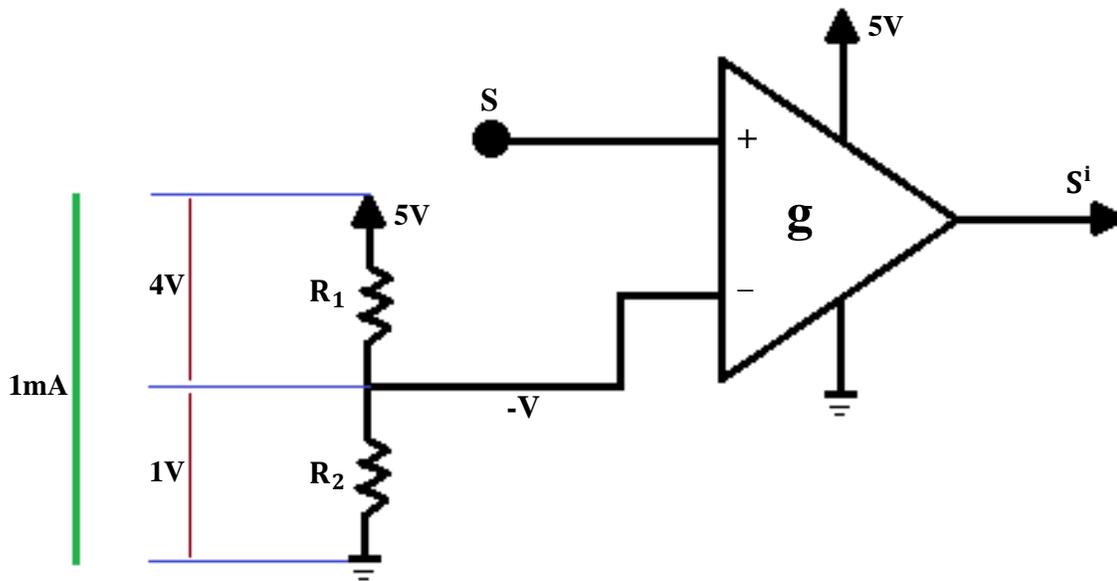
Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V_{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V_{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I_{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I_{OL}	LOW Level Output Current			16	mA
T_A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Anexo 21. Cálculos para el circuito acondicionador para sensores PIR

Alimentación de 5V



Se encuentra el voltaje de salida del circuito acondicionador de voltaje S^i



- Resistencia total del potenciómetro R_P ohmios.

$$R_P = R_1 + R_2$$

- Encontramos la intensidad

$$I = \frac{V}{R_P}$$

Donde:

V: Voltaje total del potenciómetro (V)

R_p: Resistencia total del potenciómetro en nuestro caso es 5k Ω

$$I = \frac{5V}{5K\Omega} = 1mA$$

Se encuentra la intensidad 1mA que fluye por el circuito lineal del potenciómetro.

- Posteriormente se calcula las resistencias del potenciómetro R1 Y R2.

$$R_1 = \frac{4V}{1mA} = 4K\Omega$$

$$R_2 = \frac{1V}{1mA} = 1K\Omega$$

- Encontramos voltajes de entradas y salidas.

Voltaje de entrada (-V):

$$-V = \frac{5V * R_2}{R_1 + R_2}$$

$$-V = \frac{5V * 1K\Omega}{4K\Omega + 1K\Omega}$$

$$-V = 1V$$

Voltaje de salida del circuito acondicionador Sⁱ

$$S^i = g(S - (-V))$$

$$S^i = g(S |_0^{1-3.3V} - 1V)$$

$$0 \leq S^i \leq 4.5V$$

$$S^i = g(3.3V - 1V) \approx 4.5V$$

$$S^i = g(0 - 1V) \approx -0V$$

Condición de acuerdo al voltaje (S) de salida del sensor PIR.

$$S = \begin{cases} 0V, & S^i = 0 \\ 1 \text{ a } 3.3V, & S^i = 4.5V \end{cases}$$

$$0 \leq S \leq 3.3V \updownarrow$$

Donde

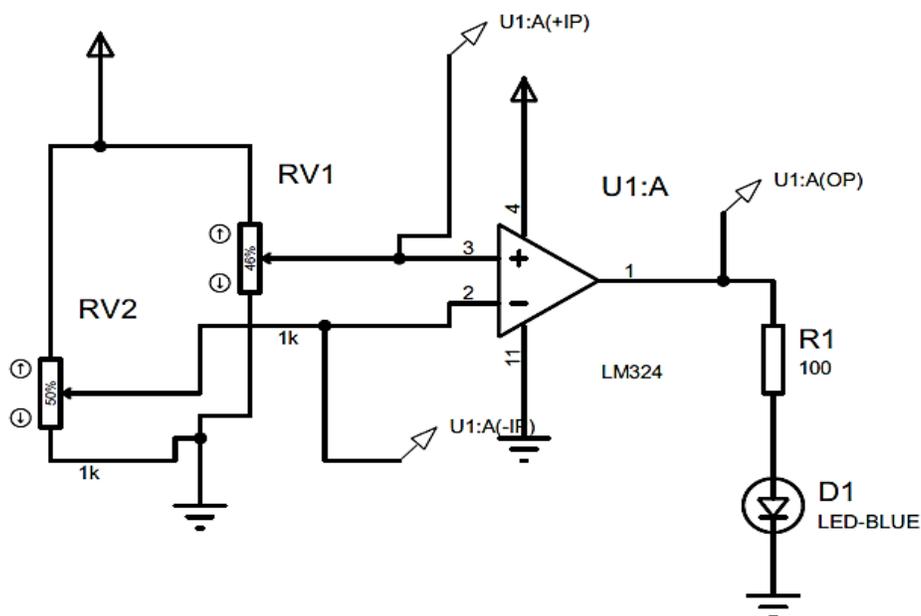
G es la ganancia interna del circuito acondicionador de voltaje, se adecúa según el voltaje de operación del circuito ($g = 10^{10}$ adimensional).

De esta manera, se determinó que cuando el voltaje S es igual a 0, el S^i tiende a 0, no activa ninguna función en dirección a los Relays que gobiernan el encendido y apagado de las luminarias.

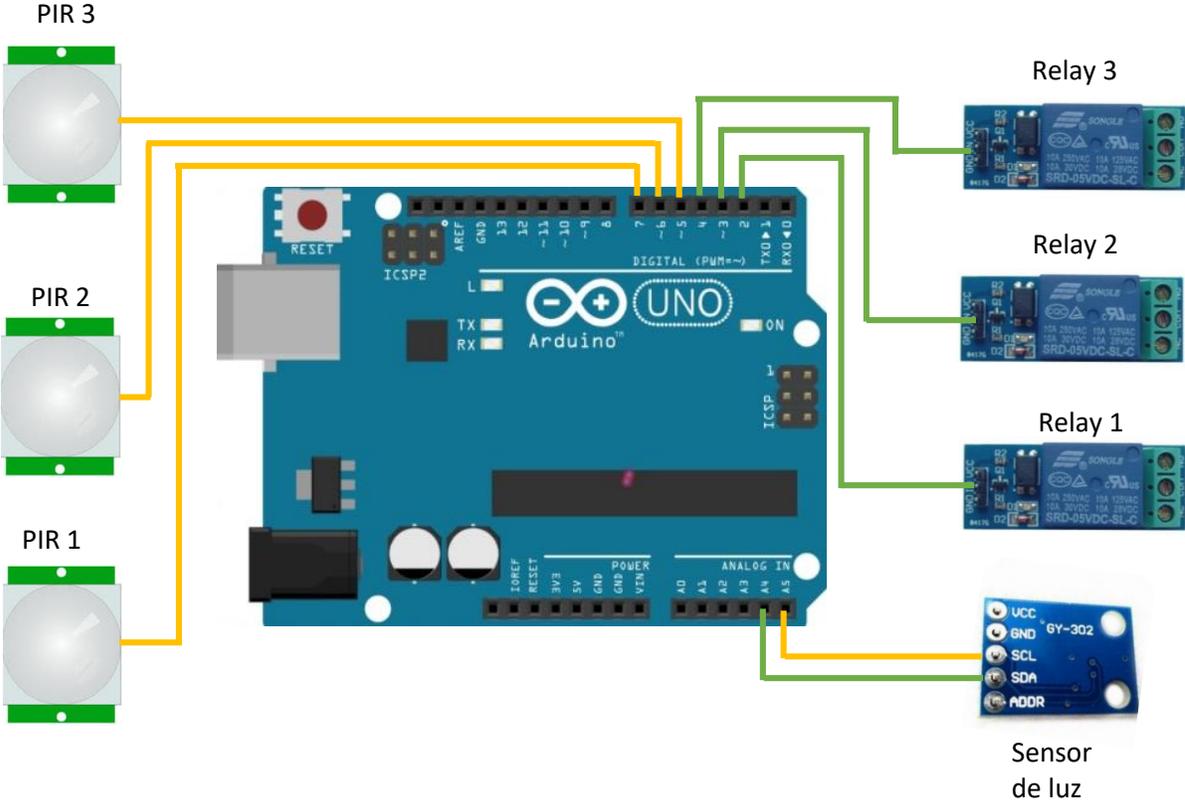
Por otro lado, si S llegará a tener un valor igual a 3.3V el S^i tiende a obtener un valor de 4.5V, indicando al procesador mandar una señal al Relay para el encendido de dichas lámparas.

Requerimientos para el diseño	Circuito Acondicionador de Voltaje
Alimentación 5V	Consumo 50 mA Alimentación 5V

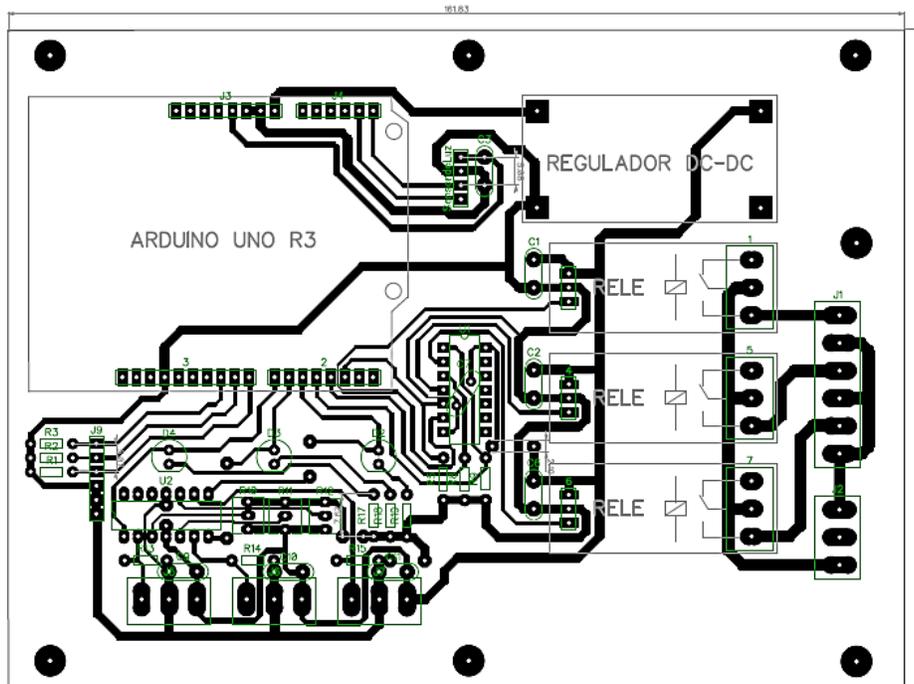
Anexo 22. Diagrama del circuito acondicionador para sensores PIR



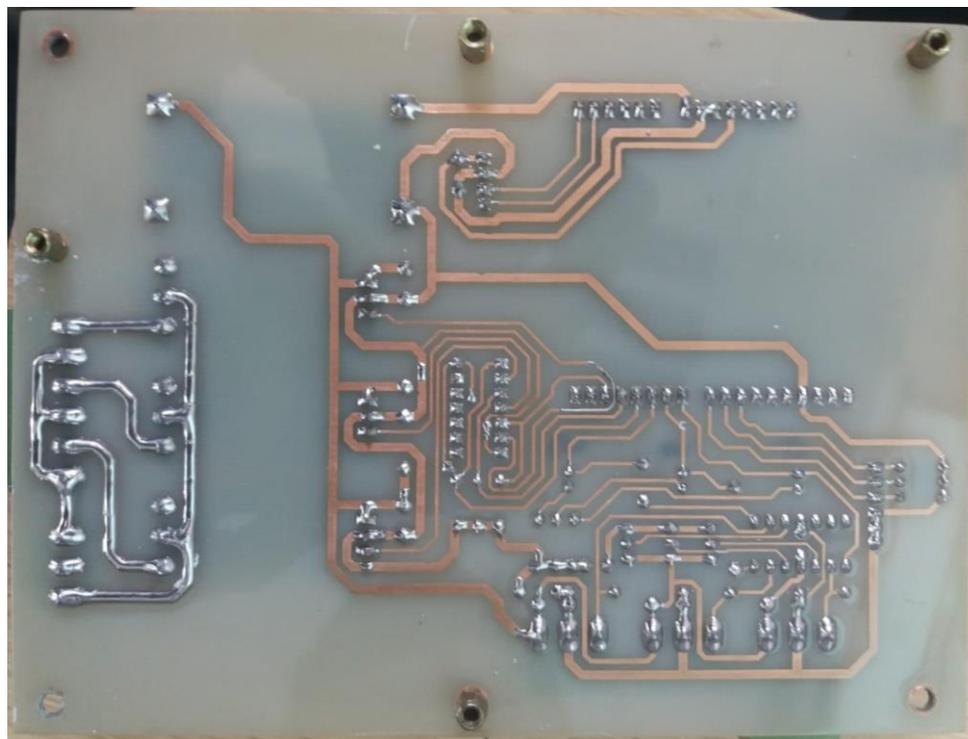
Anexo 23. Conexiones para señales analógicas y digitales de los sensores y actuadores con la tarjeta Arduino

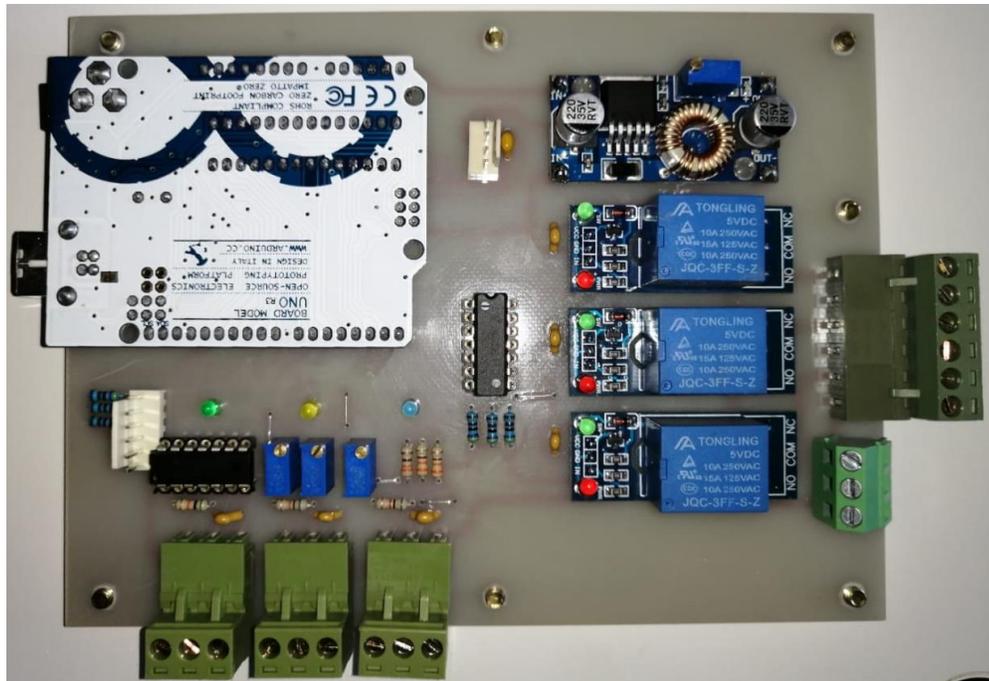


Anexo 24. Diseño de la PCB en el software DipTrace

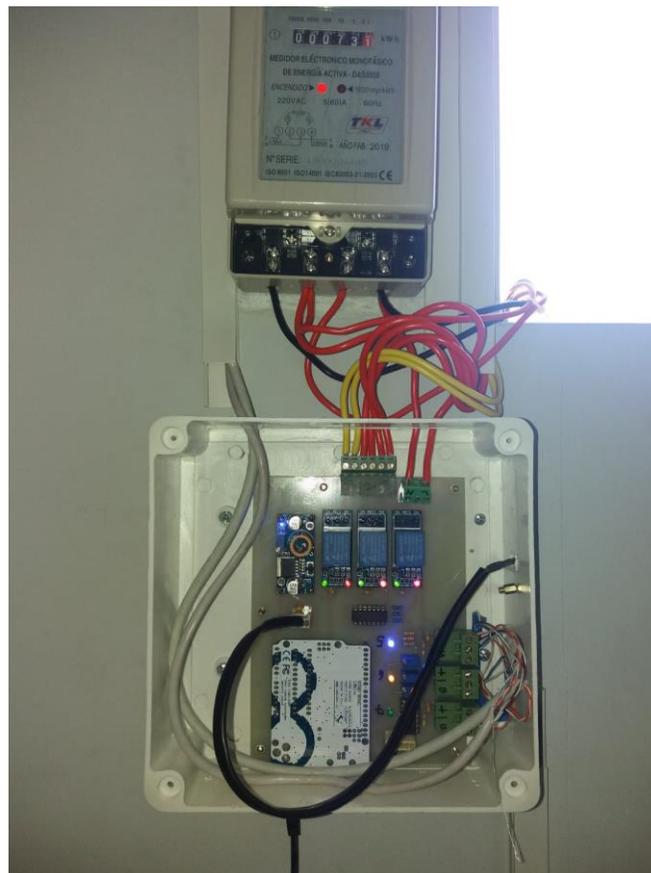


Anexo 25. Fabricación de la PCB





Anexo 26. PCB y conexiones incorporadas en la caja de paso



Anexo 27. Reconexión de luminarias por encima del cielo raso

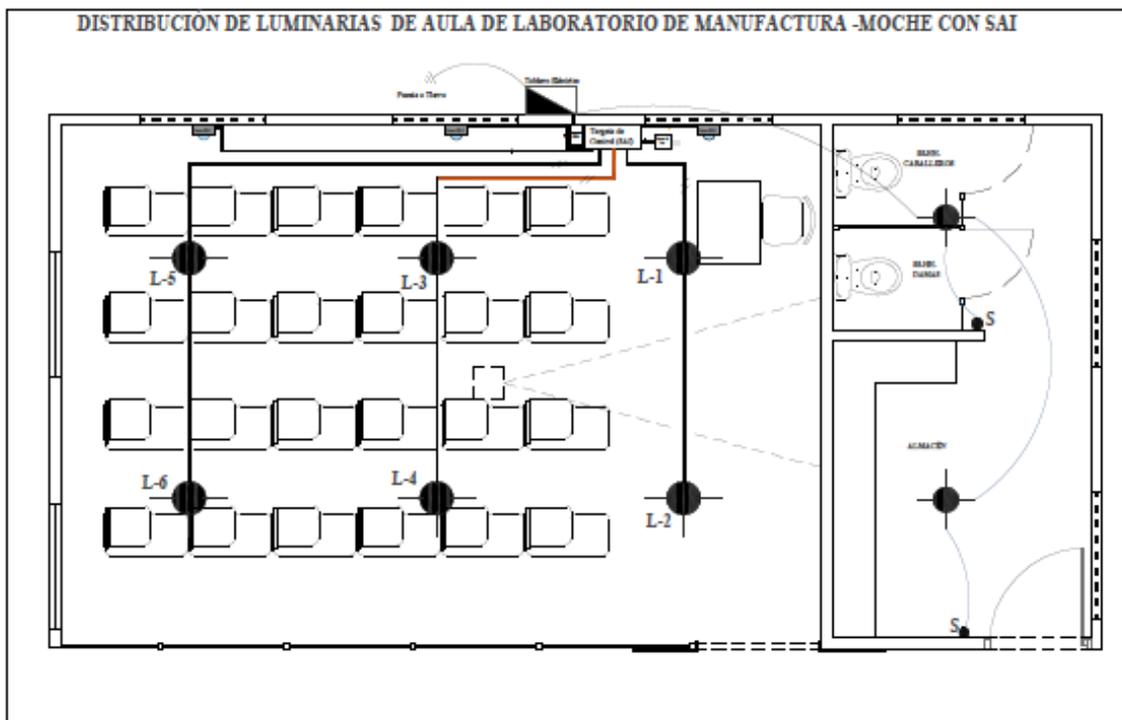


Anexo 28. Montaje de canaletas para protección de los circuitos de iluminación y de detección





Anexo 29. Plano de distribución de luminarias con Sistema automatizado de iluminación



Anexo 30. Sketch/programación de la tarjeta Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
int v = 0;
int f = 0;
int i = 0;
int j = 0;
int k = 0;
int h = 0;
int s1 = 7;
int s2 = 6;
int s3 = 5;
int r1 = 2;
int r2 = 3;
int r3 = 4;
BH1750 Luxometro;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Inicializando sensor...");
  Luxometro.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE); //inicializamos el sensor
  pinMode (r1,OUTPUT);
  pinMode (r2,OUTPUT);
  pinMode (r3,OUTPUT);
  pinMode (s1,INPUT);
  pinMode (s2,INPUT);
  pinMode (s3,INPUT);
  digitalWrite (r1, LOW);
  digitalWrite (r2, LOW);
  digitalWrite (r3, LOW);
  delay (4000);
}

void loop() {
  uint16_t lux = Luxometro.readLightLevel();//Realizamos una lectura del sensor
  v = lux;
  //v = 351;
  delay(1000);
  if (digitalRead(s1)== HIGH &&digitalRead(s2)== HIGH && digitalRead(s3)== HIGH &&
f > 99){
    f = 0;
    digitalWrite (r1, LOW);
    digitalWrite (r2, LOW);
    digitalWrite (r3, LOW);
  }
}
```

```

if (digitalRead(s1)== LOW || digitalRead(s2)== LOW || digitalRead(s3)== LOW){
  f = 0;
}
f = f + 1;

if (v > 350 ){
  h = 1;
  digitalWrite (r1, LOW);
  digitalWrite (r2, LOW);
  digitalWrite (r3, LOW);
  delay (1000);
}
if (v < 200 ){
  h = 0;
}

if (h == 0){

//*****
*****
// Sensor s1
  if (digitalRead(s1)== LOW){
    digitalWrite (r1, HIGH);
    i = 0;
  }
  if (digitalRead(s1)== HIGH && i > 59){
    digitalWrite (r1, LOW);
  }
  i = i + 1;

//*****
*****
// Sensor s2
  if (digitalRead(s2)== LOW){
    digitalWrite (r2, HIGH);
    j = 0;
  }
  if (digitalRead(s2)== HIGH && j > 59){
    digitalWrite (r2, LOW);
  }
  j = j + 1;

//*****
*****
// Sensor s3
  if (digitalRead(s3)== LOW){

```

```

        digitalWrite (r3, HIGH);
        k = 0;
    }
    if (digitalRead(s3)== HIGH && k > 59){
        digitalWrite (r3, LOW);
    }
    k = k + 1;

//*****
*****
    } else {
        digitalWrite (r1, LOW);
        digitalWrite (r2, LOW);
        digitalWrite (r3, LOW);
        // delay (1000);
    }

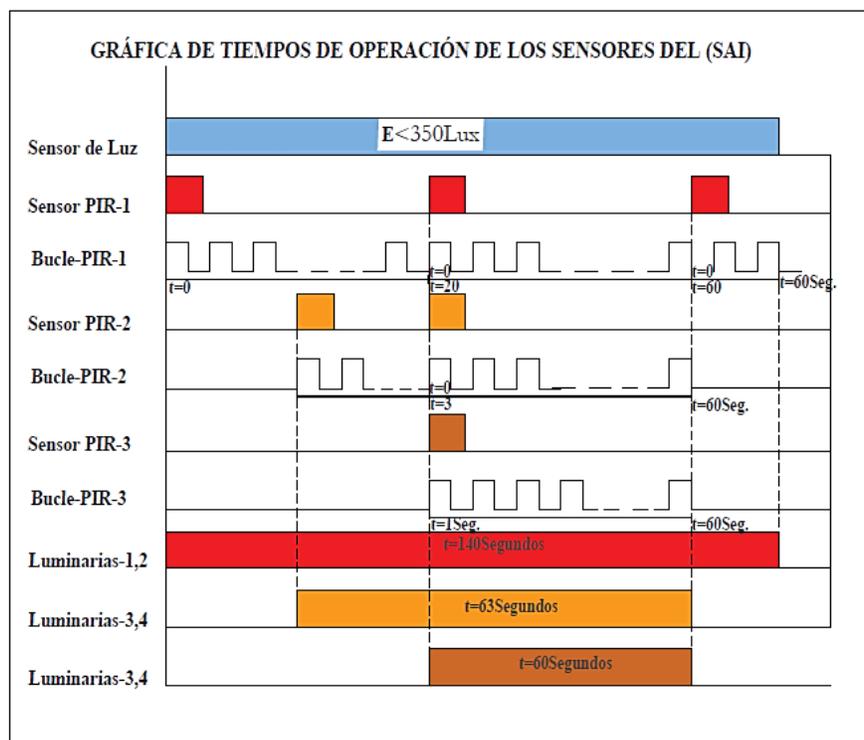
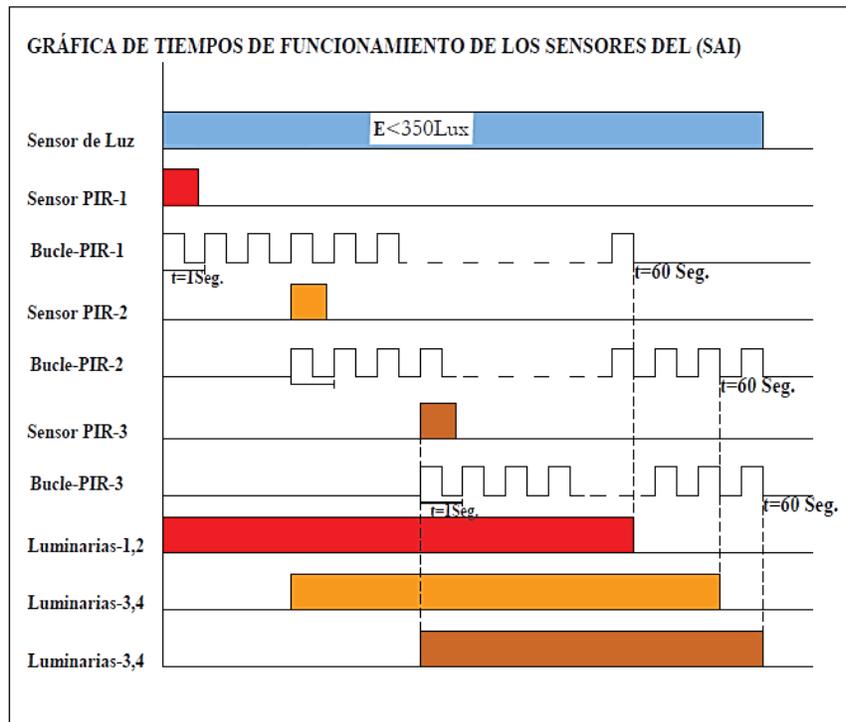
    if (i > 299){
        i = 0;
    }

    if (j > 299){
        j = 0;
    }

    if (k > 299){
        k = 0;
    }
    Serial.println(" t (s1): "+ String (i));
    Serial.println(" t (s2): "+ String (j));
    Serial.println(" t (s3): "+ String (k));
    Serial.println(" t (s1+s2+s3): "+ String (f));
    Serial.println(" Iluminancia :"+ String (v)+" Lux");
}

```

Anexo 31. Diagramas de tiempos de funcionamiento de los sensores



Anexo 32. Costos por consumo de energía

Costo de energía anual por el uso del aula del laboratorio de manufactura de la Universidad César Vallejo, Moche

	Energía eléctrica total KW-h	Costo de energía eléctrica(s/)
Semanal	27.3	15.015
Mensual	109.2	60.06
Anual	1,310.4	720.72

Costo de energía eléctrica total $\left(\frac{S/}{año}\right)$

Es el costo que la empresa tendrá que pagar por la energía consumida de las 24 lámparas del aula del laboratorio de manufactura UCV- Moche, durante un año de trabajo de dichas lámparas.

$$C_{E.E.} = E.E.C * C_{U.E.}$$

Donde:

$E.E.C$: Energía eléctrica total consumida $\left(\frac{KW-h}{año}\right)$

$C_{U.E.}$: Costo unitario de energía eléctrica $\left(\frac{S/}{kW-h}\right)$

$$C_{E.E.} = 1310.4 \left(\frac{KW-h}{año}\right) * 0.55 \left(\frac{S/}{kW-h}\right)$$

$$C_{E.E.} = 720.72 \left(\frac{S/}{año}\right)$$

Anexo 33. Cálculo del Retorno de Inversión

Consumo de energía activa con el sistema inicial.

Datos de consumo de energía activa sistema inicial					
Costo Unitario de Energía S/KW.h	0.55		CONSUMO DE ENERGÍA (KWh)		
Fecha			Hora Inicio	Hora Final	Diferencia
Día	Mes	Año	08:00am	18:00pm	
Martes	11	2019	0.3	3.5	3.2
Miércoles	11	2019	3	5	2
Jueves	11	2019	5	12.5	7.5
Viernes	11	2019	12.9	18.4	5.5
Sábado	11	2019	18.5	22.1	3.6
Lunes	11	2019	22.1	27.6	5.5

Fuente Propia

Consumo y costos de energía activa implementado con sistema inicial

Consumo y costos de energía activa kWh- sistema inicial	
Total de energía consumida(KWH/Semana)	27.3
Total de energía consumida (KWh/Mes)	109.2
Total de energía consumida (KWh/Año)	1310.4
Costo de energía (Soles/semana)	15.015
Costo de energía(Soles/mes)	60.06
Costo de energía (Soles/año)	720.72
Costo de Energía en 2 años	1441.44

Fuente Propia

Consumo de energía activa con el sistema automático de iluminación (SAI)

Datos de consumo de energía activa-SAI					
Costo Unitario de Energía S/KW.h	0.55		CONSUMO DE ENERGÍA (KWh)		
Fecha			Hora Inicio	Hora Final	Diferencia
Día	Mes	Año	08:00am	18:00pm	
Miércoles	11	2019	98.7	100.6	1.9
Jueves	11	2019	100.3	106.4	6.1
Viernes	11	2019	106.5	110.1	3.6
Sábado	11	2019	110.2	112.2	2
Lunes	11	2019	112.2	116.4	4.2
Martes	11	2019	116.5	118.3	1.8

Fuente Propia

Consumo y costos de energía activa implementado con sistema automático de iluminación

Consumo y costos de energía activa kWh-SAI	
Total de energía consumida(KWH/Semana)	19.6
Total de energía consumida (KWh/Mes)	78.4
Total de energía consumida (KWh/Año)	940.8
Costo de energía (Soles/semana)	10.78
Costo de energía(Soles/mes)	43.12
Costo de energía (Soles/año)	517.44
Costo de Energía en 2 años	1034.88

Fuente Propia

Presupuesto para la implementación del sistema automático de iluminación

PRESUPUESTO - AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN				
Producto	Precio unitario	Unidades	Total	
Medidor monofásico TKL	S/ 55.00	1	S/	55.00
Arduino UNO R3	S/ 40.00	1	S/	40.00
Módulo PIR HC-SR501	S/ 8.00	3	S/	24.00
Módulo Sensor de Luz digital BH1750	S/ 15.00	2	S/	30.00
Cable 14 AWG	S/ 1.10	20	S/	22.00
Trimmer 5K	S/ 0.50	3	S/	1.50
Fuente de alimentación DC para Arduino 12VDC/1A	S/ 12.00	1	S/	12.00
Convertidor DC-DC	S/ 15.00	1	S/	15.00
Cable Dupont macho a macho 20cm / 20Und	S/ 5.00	2	S/	10.00
Cable Dupont hembra a macho 20cm / 20Und	S/ 5.00	2	S/	10.00
Cable de red Cat 6 (m)	S/ 0.80	18	S/	14.40
Clema 3 pines	S/ 1.50	6	S/	9.00
Módulo Relay 1CH 5VDC	S/ 6.00	3	S/	18.00
Header 40 pines hembra	S/ 1.00	3	S/	3.00
Header 40 pines macho	S/ 1.00	3	S/	3.00
Placa de fibra de vidrio	S/ 10.00	1	S/	10.00
Canaleta 2cm	S/ 3.00	5	S/	15.00
Caja de paso 200x200x200mm	S/ 15.00	1	S/	15.00
Caja de paso 100x100x70mm	S/ 5.00	3	S/	15.00
Paquete de tarugos y tornillos drywall	S/ 5.90	1	S/	5.90

Circuito integrado 7404	S/	1.50	1	S/	1.50
Circuito integrado LM324	S/	1.50	1	S/	1.50
Ácido férrico	S/	4.00	2	S/	8.00
Broca 1/32	S/	1.50	1	S/	1.50
Resistencia 10k OHM	S/	0.40	3	S/	1.20
Resistencia 330 OHM	S/	0.40	3	S/	1.20
Resistencia 4.7 k OHM	S/	0.40	3	S/	1.20
Condensador 0.1uF	S/	0.20	7	S/	1.40
Diodo LED	S/	1.00	3	S/	3.00
Total				S/	348.30

Para el desarrollo de cálculo se empleará la siguiente expresión:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio Obtenido} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

Datos para encontrar el ROI:

- **Beneficio.** -

$$\text{Beneficio Obtenido} = \text{C. E. S. A.} - \text{C. E. S. A. I}$$

Donde:

C.E.S.A.I: Costo de energía con sistema automático de iluminación (Soles/año)

C.E.S.A: Costo de energía sistema inicial (Soles/año)

$$\text{Beneficio Obtenido} = 1441.44 - 1034.88$$

$$B. O. = 406.56 \text{ soles}$$

En dos años se tiene un ahorro de 406.56 soles.

- **Inversión.** - Hace referencia a gastos realizados para elaboración del proyecto de investigación. En donde se llega a acumular un total de 348.30 soles.

- **Calculo del ROI**

$$ROI = \left(\frac{454.080 - 348.30}{348.3} \right) * 100$$

$$ROI = 16.72\%$$

La inversión de 348.3 soles se recuperará en dos años con un ROI de 16.72%.

Anexo 34. Matriz de consistencia

Autores: Castillo Fiestas, Jordan Joel; Tumbajulca Alvites, Milder Carlitos				
Título: “Diseño e implementación de sistema de control automático de iluminación para mejorar la eficiencia energética de los ambientes del CIT UCV, Moche”				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cómo mejorar la eficiencia energética del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche?	Objetivo general	Diseñando e implementando un sistema de control automático se incrementa la eficiencia energética (el consumo de energía) del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche.	Variable independiente	1. Tipo de investigación: Aplicada
	Diseñar e implementar un sistema de control automático para mejorar la eficiencia energética del sistema de iluminación de los ambientes del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Moche.		Sistema de control automático de iluminación.	2. Nivel de la investigación: Descriptiva
	Objetivos específicos		Variable dependiente	3. Método: Deductivo, Análisis, Síntesis
	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la eficiencia del sistema de iluminación actual • Diseñar el nuevo sistema de control automático de iluminación. • Evaluar eficiencia energética con el sistema implementado. • Evaluar el costo beneficio de la propuesta. 		Eficiencia Energética	4. Diseño de la investigación: Experimental
				5. Población: Sistemas de iluminación de los ambientes del CIT UCV, Moche.
				6. Muestra: Sistema de iluminación del aula del laboratorio de Manufactura del CIT UCV, Moche.
				7. Técnicas: Observación y Análisis documental
				8. Instrumentos: Registro de mediciones, ficha de registro de datos.
			9. Indicadores: Tipo, cantidad, elementos de control	

Anexo 35. Validación de instrumentos

REGISTRO DE MEDICIONES PARA MEDIR CONSUMO DE ENERGÍA				
Lugar			Investigadores	
Tarea				
Costo de energía unitario.			CONSUMO DE ENERGÍA (KWh)	
	Fecha		Hora Inicio	Hora Final
	Día	Mes	Año	
			08:00am	18:00pm
Observaciones:.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA SIMULAR EN SOFTWARE
DIALux**

Nombre de aula: _____ N° Aula: _____

Dimensiones y colores del aula				
Largo(m)	Ancho(m)		Alto(m)	
Contextura de aulas				
Piso	Material			
	Color			
Techo	Material			
	Color			
Paredes	Material			
	Color			
Nombre	Dimensiones de Puertas/ Ventanas (m)			
	Altura	Ancho	Espesor	Altura parapeto
Datos técnicos de tipo de Luminaria				
Tipo	Marca	Potencia Lámpara(W)	Potencia Luminaria(W)	Cantidad/aula
Datos normados				
Altura plano de trabajo(m)				
Iluminancia (lux)	Mínima			
	Promedio			
	Máxima			

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Si Si hay suficiencia.

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Ing. Alex Deyvi Tejeda Ponce DNI: 42219417

Especialidad del validador: Ing. Mecánico

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es concreto, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Trujillo, noviembre de 2019



Alex D. Tejeda Ponce
ING. MECÁNICO
Firma del Experto Informante

**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA SIMULAR EN SOFTWARE
DIALux**

Nombre de aula: _____

Nº Aula: _____

Dimensiones y colores del aula				
Largo(m)	Ancho(m)		Alto(m)	
Contextura de aulas				
Piso	Material			
	Color			
Techo	Material			
	Color			
Paredes	Material			
	Color			
Nombre	Dimensiones de Puertas/ Ventanas (m)			
	Altura	Ancho	Espesor	Altura parapeto
Datos técnicos de tipo de Luminaria				
Tipo	Marca	Potencia Lámpara(W)	Potencia Luminaria(W)	Cantidad/aula
Datos normados				
Altura plano de trabajo(m)				
Iluminancia (lux)	Mínima			
	Promedio			
	Máxima			

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Si Si hay suficiencia.

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Ing. Christian Frank Boy Sipiran DNI: 40438872

Especialidad del validador: Ing. Civil

- ¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
- ²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.
- ³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Trujillo, noviembre de 2019



Christian F. Boy Sipiran
Firma del Experto Informante
Ingeniero Civil
N. CIP. 92627

**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA SIMULAR EN SOFTWARE
DIALux**

Nombre de aula: _____ N° Aula: _____

Dimensiones y colores del aula				
Largo(m)	Ancho(m)		Alto(m)	
Contextura de aulas				
Piso	Material			
	Color			
Techo	Material			
	Color			
Paredes	Material			
	Color			
Dimensiones de Puertas/ Ventanas (m)				
Nombre	Altura	Ancho	Espesor	Altura parapeto
Datos técnicos de tipo de Luminaria				
Tipo	Marca	Potencia Lámpara(W)	Potencia Luminaria(W)	Cantidad/aula
Datos normados				
Altura plano de trabajo(m)				
Iluminancia (lux)	Mínima			
	Promedio			
	Máxima			

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Si Si hay suficiencia.

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Jorge Antonio Inciso Vásquez DNI: 26695389

Especialidad del validador: Ingeniero Mecánico

- ¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
- ²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo.
- ³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Trujillo, diciembre de 2019


 Jorge A. Inciso Vásquez
 FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
 R. C.I.P. 88717