

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN, SEGURIDAD Y ACCESO DEL EDIFICIO DE CIENCIAS BÁSICAS DE LA EPN

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN ELECTROMECAÁNICA**

DIEGO ARMANDO LOMAS GUAYANAY

DIRECTOR: Ing. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.

DMQ, agosto 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Diego Armando Lomas Guayanay declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

DIEGO ARMANDO LOMAS GUAYANAY

diego.lomas@epn.edu.ec

diego.10ct@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Diego Armando Lomas Guayanay, bajo mi supervisión.

Ing. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.

DIRECTOR

alan.cuenca@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Diego Armando Lomas Guayanay

Correo: diego.lomas@epn.edu.ec

Teléfono: 099 4422 733

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a toda mi familia, quienes son mi principal guía, ya que, de no ser por sus consejos y apoyo, no sería la persona que soy hoy en día. De mi parte les estaré eternamente agradecido y estaré dispuesto a ayudarlos, así como ellos no dudaron en hacerlo por mí en su momento. Muchas gracias mi familia los quiero mucho.

A los amigos que he hecho durante mi estancia en la Escuela Politécnica Nacional, los cuales han sido parte fundamental en mi desarrollo académico, solo quiero darles las gracias y estoy seguro de que nos volveremos a encontrar, pero esta vez en el plano profesional.

Diego A. Lomas

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento hacia la Escuela Politécnica Nacional y a la Escuela de Formación de Tecnólogos por brindarme conocimientos, proveerme de herramientas y valores necesarios para afrontar el mundo laboral, así como también convertirme en un profesional capaz de contribuir al desarrollo productivo y tecnológico del país.

Agradezco al Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez por su paciencia, consejos y recomendaciones en este último tramo de mi carrera previo a la obtención del título como Tecnólogo Superior en Electromecánica.

Y finalmente y no menos importante agradezco a mi madre Rocío Guayanay quien ha sido la persona que ha estado en mis buenos y malos momentos, siempre alentándome y procurando que me convierta en un hombre de bien, humilde y trabajador.

Diego A. Lomas

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
2 METODOLOGÍA	6
2.1 Estado actual de las instalaciones del edificio	7
2.2 Requerimientos a cumplir	13
3 RESULTADOS.....	15
3.1 Propuesta planteada.....	15
3.2 Sistema de control	42
3.3 Diagrama unifilar	48
3.4 Estudio económico.....	49
4 CONCLUSIONES	50
5 RECOMENDACIONES.....	52
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
7 ANEXOS.....	56
ANEXO I. Reporte de similitud generado por Turnitin	57
ANEXO II. Certificado de validación del proyecto	58
ANEXO III. Tipos de luminarias instaladas en el DFB.....	59
ANEXO IV. Estudio de carga actual del DFB	61
ANEXO V. Resultados obtenidos de DIALux	63
ANEXO VI. Datos técnicos de luminarias.....	96
ANEXO VII. Algoritmo de control.....	99

ANEXO VIII. Diagrama de Flujo	104
ANEXO IX. Diagrama unifilar del sistema de iluminación	105
ANEXO X. Cotización.....	106

RESUMEN

El presente trabajo de titulación abarca el diseño del sistema de control de iluminación del edificio del Departamento de Formación Básica de la EPN, utilizando un PLC como controlador de dicho sistema, así como también la utilización de sensores de presencia para que contribuyan al ahorro energético. El documento está compuesto de siete capítulos que se detallan a continuación:

En el primer capítulo se detalla el componente desarrollado, los objetivos, el alcance del proyecto y por último el sustento teórico necesario para el desarrollo del sistema.

El segundo capítulo describe todo lo referente a la metodología utilizada, la cual está planteada en orden cronológico y con base en los objetivos específicos planteados.

Dentro del tercer capítulo se encuentran los resultados en donde se detallan: la propuesta de mejora en cuanto a los niveles de iluminación, dimensionamiento de conductores y protecciones eléctricas, desarrollo del sistema de control, la elaboración de diagramas eléctricos y finalmente el estudio económico.

Los capítulos cuatro y cinco engloban las conclusiones y recomendaciones que se deben considerar a futuro para su posible implementación.

En el capítulo seis se muestran las referencias bibliográficas que sirvieron para la realización del proyecto. Y finalmente en el capítulo siete se encuentran los anexos de los cuales se destacan: el reporte de similitud, certificado de funcionamiento, diagramas eléctricos, algoritmos de control y hojas técnicas, entre otros.

PALABRAS CLAVE: Inmótica, Iluminación, Automatización, DFB-EPN, PLC S7-1200.

ABSTRACT

This document covers only the design of the lighting control system of the EPN Basic Training Department building, using a PLC as the controller of the system, as well as the use of brightness and presence sensors to contribute to both energy and economic savings. Document is composed of seven chapters as follows:

In the first chapter details the component developed, the objectives, the scope of the project and finally the theoretical support necessary for the development of the system.

The second chapter describes the methodology used, which is presented in chronological order and based on the specific objectives.

The third chapter contains are the results, where they are detailed: the proposal for improvement in terms of lighting levels, dimensioning of conductors and electrical protections, development of the control system, the elaboration of electrical diagrams and finally the economic study.

Chapters four and five include the conclusions and recommendations to be considered in the future for the possible implementation.

Chapter six presents the bibliographical references that served for the consolidation of the project. And finally in chapter seven are the annexes of which the following are highlighted: agreement report, operation certification, electrical diagrams and control algorithms and data sheets, among others.

KEYWORDS: Inmotics, Lightning, Automation, DFB-EPN, PLC S7-1200.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En la actualidad las edificaciones tienen una mayor responsabilidad en el ámbito ecológico y ahorro energético, esto debido al incremento de la población, lo que se traduce como un aumento en la demanda energética, se debe entender que la energía que se desperdicia no necesita ser producida. Mediante la inmótica se obtiene los beneficios antes mencionados, además que otorga al usuario la capacidad de gestionar, monitorear y mantener una comunicación entre sistemas tales como: control de acceso, video vigilancia, ventilación, entre otros [1].

En cuanto a la iluminación se ha demostrado que juega un papel importante en la salud visual, el estado de ánimo, el rendimiento físico y mental, así como también en el confort de las personas [2].

Tomando en cuenta todo lo antes mencionado, el Departamento de Formación Básica (DFB) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) al ser una edificación con varios años en funcionamiento, necesita una modernización, tal es el caso del sistema de iluminación. Por medio del estudio del estado actual del edificio, el presente diseño de automatización abarca desde el piso tres hasta el seis y pretende brindar los niveles de iluminación necesarios establecidos por las normas NEC y el Decreto Ejecutivo 2393 [3], que a su vez toman como base la norma UNE-EN 12464-1.

El edificio consta de diferentes áreas tales como: un centro de cómputo, una bodega, oficinas, aulas de clase, salas de reuniones, baños y pasillos. Muchas de las áreas continúan utilizando lámparas fluorescentes, las cuales no son eficientes, demandan mayor consumo eléctrico y su vida útil es muy reducida, es por este motivo que se establece el cambio de dichas luminarias por unas de tipo LED como primer apartado.

El sistema utilizará un PLC S7 1200 CPU 1214C que contará con dos modos de trabajo uno llamado modo PISO y el otro modo AULA. Cada modo contará con dos sub-modos manual y temporizado, el sub-modo temporizado utiliza la programación de horarios de encendido como de apagado de las luminarias, que sumado al uso de sensores de presencia se pretende contribuir al ahorro energético del edificio. El control de encendido y apagado mediante interruptores forman parte del sub-modo manual, esto en caso de fallas por parte del modo temporizado o por temas de mantenimiento. Adicionalmente, se propone utilizar un botón de apagado general de luminarias por piso, esto para comodidad del cuerpo de seguridad de la EPN.

En el Anexo II se muestra el certificado de aprobación del proyecto validando la realización del mismo.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema de control de iluminación del Edificio de Ciencias Básicas de la EPN.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento de información del estado actual del sistema de iluminación del Edificio de Ciencias Básicas de la EPN.
- Plantear propuestas de mejoramiento del sistema de iluminación.
- Desarrollar el algoritmo de control para el sistema de iluminación.
- Realizar diagramas unifilares y del sistema de control.
- Realizar un estudio económico.

1.3 ALCANCE

El diseño del sistema de iluminación contará con los niveles recomendados por las normas NEC y UNE-EN 12464-1, además estará previsto de dos circuitos de trabajo.

- Modo Piso: En este modo se controlarán todas las luminarias del piso.
- Modo Aulas: Se centrará únicamente en la iluminación dentro de las aulas.

Los modos antes mencionados estarán interbloqueados, es decir que los elementos de maniobra de un modo quedarán inhabilitados mientras el otro modo esté activado. Cada modo contará con dos sub-modos.

- Modo manual: Se trata de la utilización de los interruptores que se encuentran instalados actualmente en el edificio para el encendido y apagado de luminarias, esto en caso de avería o por temas de mantenimiento de sensores y/o fallas en la programación del modo temporizado. En cada piso existirá un botón tanto para el apagado como encendido general de las luminarias para facilitar las rondas nocturnas del personal de seguridad del edificio.
- Modo temporizado: El encendido y apagado de las luminarias será controlado a través de la programación de horarios, esto únicamente en las oficinas, aulas de

clases, el centro de cómputo. En los cuartos de baños, pasillos y gradas se utilizarán sensores de presencia esto para evitar que las luces permanezcan encendidas.

Se recomendará que las luminarias fluorescentes sean reemplazadas por tecnología LED, debido a la eficiencia de las mismas.

1.4 MARCO TEÓRICO

INMÓTICA

El término inmótica hace referencia al gestionamiento técnico automatizado de varios sistemas como por ejemplo climatización, iluminación, seguridad, entre otros, mediante la centralización de datos y control inteligente. Un edificio inteligente comprende todos los sistemas y dispositivos que contribuyen al confort de las personas y seguridad además de reducir el consumo de energía [1].

En la Figura 1.1 se observan varios de los sistemas que integran la inmótica.

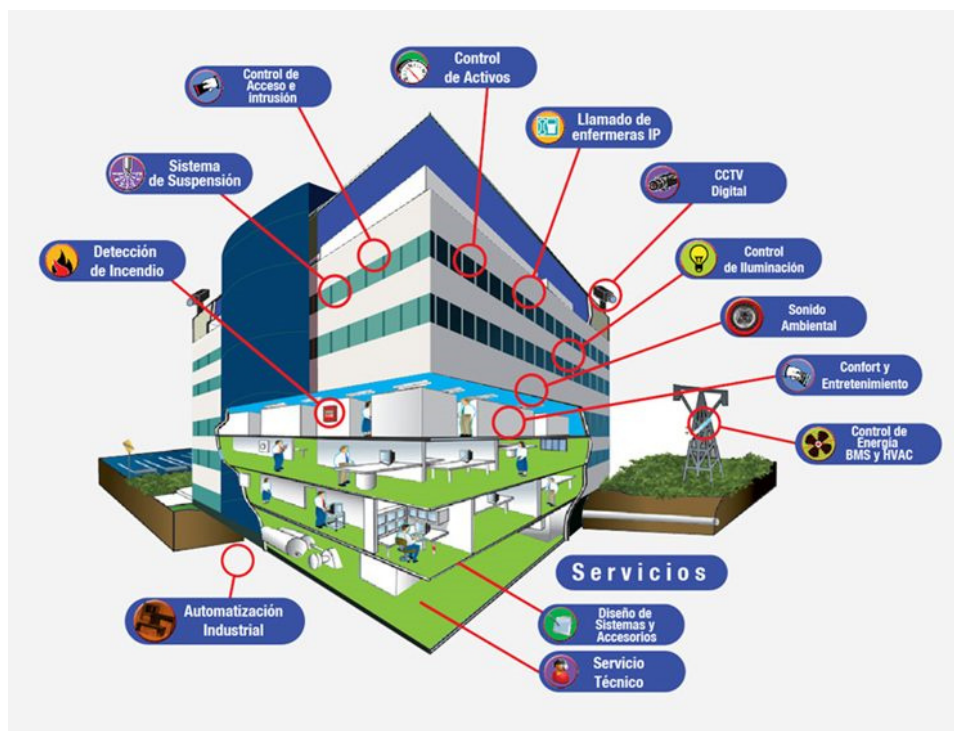


Figura 1.1. Ejemplo de inmótica en un hospital, [4]

SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTELIGENTE

Un sistema de control de iluminación inteligente hace alusión al grupo de elementos conectados entre sí como controladores, sensores, interfaces de usuario, entre otros, que se encargan de controlar de manera práctica, sencilla y personalizable cualquier tipo de sistema de iluminación artificial.

Además, dichos sistemas permiten realizar un monitoreo en tiempo real de averías o del consumo de energía, son capaces de programar horarios, controles por voz de manera remota o local, entre muchas otras funciones [5].

El principal consumo eléctrico dentro de los edificios y en donde más se pueden implementar sistemas de automatización son en la iluminación y climatización. En la Figura 1.2 se muestra una de las funcionalidades de un sistema inteligente, el cual se trata del control remoto de las luminarias mediante un *smartphone*.



Figura 1.2. Control remoto de luminarias mediante un *smartphone*. [6]

NORMAS NEC Y UNE-EN 12464-1

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), establece los parámetros mínimos tanto de seguridad como calidad dentro de las instalaciones eléctricas de media y baja tensión [7]. La Norma Europea UNE-EN 12464-1, establece los niveles de iluminación recomendados en función de las áreas y las actividades que se realizan [8].

Dichas normas son las que se utilizarán a lo largo de este documento en cuanto a niveles de iluminación e instalaciones eléctricas.

A continuación, en la Tabla 1.1 se muestran los niveles de iluminación que se utilizarán para el estudio y diseño del sistema de iluminación del DFB de la EPN.

Tabla 1.1. Niveles de iluminación requeridos en diferentes áreas, [8]

Tipo de interior, tarea y actividad	Nivel lumínico recomendado (Lux)
Edificaciones	
Áreas de circulación y pasillos	100
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos.	500
Escaleras	150
Cuartos de baño	200
Oficinas	
Escritura, escritura a máquina, lectura y tratamiento de datos	500
Archivo, copias, etc.	300

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del componente se optó por utilizar un enfoque mixto, es decir que es una metodología tanto cuantitativa como cualitativa. Es cuantitativa debido a que por medio de una serie de cálculos eléctricos denominado estudio de carga, se determina el dimensionamiento de conductores y protecciones eléctricas. Tomando en cuenta dichos datos y sumado la evaluación del entorno como también los requerimientos en cuanto a iluminación, se seleccionan los componentes que compondrán el sistema de automatización.

Debido a que el componente se trata meramente solo del diseño, el tipo de trabajo está basado en investigación, descripción y explicación del estado actual del edificio, la propuesta de diseño, los resultados obtenidos mediante cálculos, mediciones, simulaciones y finalmente del estudio económico.

A continuación, se describen las actividades realizadas.

- Levantamiento de información del estado actual del sistema de iluminación del Edificio de Ciencias Básicas de la EPN.

Por medio de la visita técnica y los documentos proporcionados por el edificio de Servicios Generales [9] e información por parte del Departamento de Planificación se determinó el estudio actual del edificio que incluye: el tipo de luminarias existentes, niveles de luminosidad en las diferentes áreas del edificio, el estudio de cargas y requerimientos del sistema.

- Planteamiento de propuestas de mejoramiento para el sistema de iluminación.

Mediante la evaluación del estado actual e investigación acerca de equipos (luminarias y controladores) se establecieron propuestas que permitan crear un ambiente cómodo y óptimo para el desarrollo de las actividades dentro del edificio, sin dejar de lado el ahorro energético.

En primera instancia se planteó el reemplazo de luminarias que no sean de tecnología tipo LED, se realizaron simulaciones utilizando DIALux evo y mediciones reales con un luxómetro de los niveles de iluminación en las diferentes áreas que componen el edificio, tomando en cuenta la norma UNE-EN 12464-1, para de esta manera realizar el dimensionamiento de conductores y protecciones eléctricas con el fin de mejorar las instalaciones actuales.

- Desarrollo del algoritmo de control

Tomando en cuenta el número de aulas en cada piso, se estableció las respectivas señales de entrada y salida al PLC, las cuales permiten comandar el sistema de control de iluminación. Se establecieron dos modos de funcionamiento por piso, un modo denominado PISO y el otro denominado AULA. El modo Piso que como su nombre lo indica se centra en la iluminación de todo el piso de manera general, mientras que el modo AULA se enfoca de manera independiente en las aulas de clases.

Cada modo posee dos sub-modos, uno manual y el otro temporizado, el sub-modo manual utiliza pulsadores o interruptores para el encendido y apagado de las lámparas, mientras que el sub-modo temporizado, toma en cuenta horarios de programación.

El algoritmo de control fue desarrollado utilizando el *software* TIA Portal V15.

- Elaboración de diagramas unifilares y del sistema de control

Se realizó un diagrama unifilar que se utilizaría para el piso 3, 4, 5 y 6, en el cual se puntualiza conductores, cargas eléctricas y dispositivos de protección, además se diseñó el diagrama del sistema de control que incluye el circuito de potencia y el circuito de mando. Estos diagramas se diseñaron con los programas AutoCAD y CAdE Simu respectivamente.

- Elaboración del estudio económico

Se realizó una proforma en busca de proveedores locales y nacionales procurando que sus equipos cumplan todos los requerimientos del sistema de iluminación propuesto, así como también que exista un balance entre calidad-precio, con el fin de establecer los costos reales para una posible implementación.

2.1 ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO

El DFB cuenta con seis pisos según se aprecia en la Figura 2.1, sin embargo, para el presente estudio se tomará en cuenta a partir del piso tres, debido a que la planta baja y el piso dos poseen diferentes áreas como laboratorios, cuartos de máquinas, entre otros, pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Mecánica.



Figura 2.1. Departamento de Formación Básica de la EPN

En dichos pisos se encuentran seis áreas las cuales son: un centro de cómputo, oficinas, salas de reuniones, aulas de clase, baños y pasillos. A continuación, en la Tabla 2.1 se encuentra un resumen de la cantidad de áreas que conforman el edificio y dichos pisos.

Tabla 2.1. Cantidad de áreas del DFB

Áreas	Total
Oficinas	13
Salas de reuniones	2
Aulas de clase	28
Bodega	1
SS. HH hombres	8
SS. HH mujeres	8
Pasillos	4

Se debe mencionar que a la bodega no se la tomará en cuenta tanto para el dimensionamiento de conductores, protecciones eléctricas, así como también en las simulaciones en DIALux, debido a que esta área no es utilizada muy a menudo y que actualmente se encuentra en planes de remoción.

TIPOS DE LUMINARIAS

Cabe mencionar que el documento [9] es una memoria técnica realizada antes de la pandemia del COVID 19, recientemente el DFB pasó por una restructuración en la cual se reemplazaron las luminarias provenientes de las aulas de clases, pasillos, entradas hacia los cuartos de baño y gradas. Con la información brindada por parte del Departamento de

Planificación de la EPN, se ha actualizado los tipos de luminarias que se encuentran actualmente en el edificio, las cuales se detallan por medio de una tabla en el Anexo III.

En la Figura 2.2 se observa el tipo de luminarias instaladas en los pasillos.



Figura 2.2. Paneles LED instalados en los pasillos del DFB

ESTUDIO DE CARGAS

Para el estudio de cargas fue necesario la identificación de los circuitos de iluminación en los diferentes tableros de distribución. En el documento [9] a partir de la página 36 se encuentran etiquetados los centros de carga, así como también, las protecciones eléctricas y los calibres de los conductores de los diferentes circuitos.

Por medio de una tabla en el Anexo IV se detalla el cálculo de la potencia instalada, a que circuito pertenece y que protección utiliza actualmente. El día en que se realizó la identificación de los circuitos hubo problemas con algunas de las cerraduras inteligentes (no se tuvo acceso a ciertas aulas), estas mismo se encuentran sin identificación, en cuanto a las oficinas no se tuvo acceso debido a temas de seguridad e incomodidad.

En la Figura 2.3 se observa uno de los tableros instalados en el quinto piso.

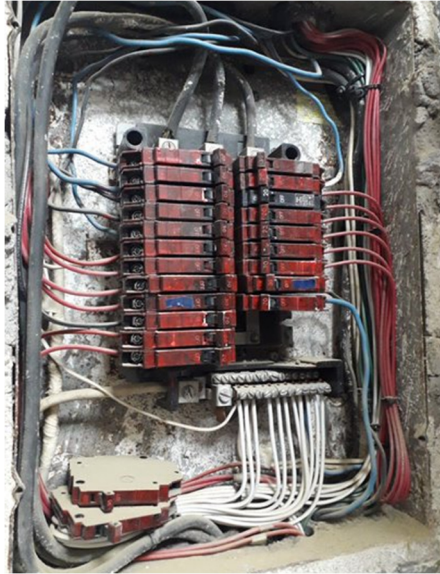


Figura 2.3. Tablero de distribución ubicado en el pasillo del quinto piso

De manera provisional se etiquetaron algunos de los circuitos de iluminación en los que se tuvo acceso. A continuación, la Figura 2.4 se muestra el proceso de etiquetación en el tablero de distribución del quinto piso a manera de ejemplo.

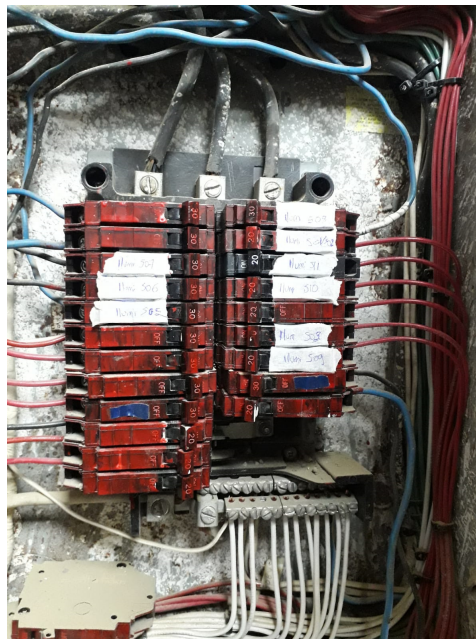


Figura 2.4. Etiquetación provisional de circuitos

NIVELES DE ILUMINACIÓN

Tomando como referencia los valores lumínicos de la memoria técnica [9], se realizaron mediciones en las áreas donde hubo cambios de luminarias a tecnología LED, es decir en aulas, pasillos, entrada hacia los baños y gradas, además se realizaron mediciones en los cuartos de baño donde era evidente que la iluminación era insuficiente y por ende en desacuerdo con el documento citado.

En la Figura 2.5 se observa el nivel de iluminación medido en el aula 305 que los maestros utilizan como sala de reuniones.



Figura 2.5. Nivel de iluminación medido en el aula 305

PROBLEMAS DETECTADOS

a) Falta de iluminación en algunos lugares

Como se aprecia en la Figura 2.6, es evidente la falta de iluminación en el baño de los maestros ubicado en el tercer piso.



Figura 2.6. Falta de iluminación en SS. HH Hombres en el tercer piso

b) Utilización de lámparas fluorescentes

Tomando como ejemplo la Figura 2.7, algunas áreas continúan utilizando esta tecnología de lámparas, las cuales son ineficientes y consumen mayor cantidad de energía.



Figura 2.7. Lámparas fluorescentes instaladas en el baño de hombres del cuarto piso

c) Tiempo de vida útil de las luminarias reducido

Al utilizar tecnología de lámparas fluorescentes sumado a que muchas de ellas permanecen encendidas la mayor parte del tiempo, su tiempo de vida útil se reduce drásticamente. Debido a que la EPN recibe fondos por parte del estado, el tiempo para reemplazar las luminarias es extenso.

El código QR de la Figura 2.8 muestra un corto video acerca de este problema.



Figura 2.8. Código QR del video del problema detectado.

(Enlace: <https://youtu.be/xgqX0uzNcIk>)

d) No existe la identificación de circuitos en los tableros de distribución

En la Figura 2.9 se aprecia que ninguno de los interruptores termomagnéticos tienen algún tipo de identificación. Esto ocurre en todos los tableros de los pisos de estudio.

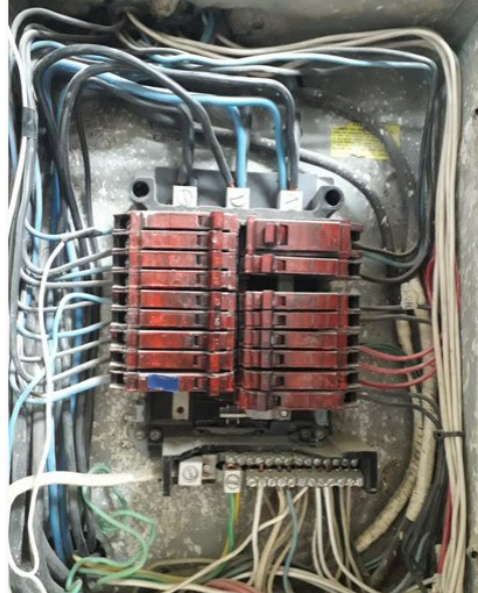


Figura 2.9. Falta de identificación de circuitos en tablero del cuarto piso

2.2 REQUERIMIENTOS A CUMPLIR

Tomando en cuenta que el presente trabajo se aplicará a los pisos 3, 4, 5 y 6 del DFB, se establecen los siguientes requerimientos a cumplir:

- Medir los niveles de iluminación en las áreas de cada piso y verificar dichos valores con respecto a la Norma UNE-EN 12464-1.
- Realizar simulaciones de los niveles de iluminación en las distintas áreas que componen el edificio, utilizando lámparas con tecnología LED.
- Plantear el reemplazo de las luminarias incandescentes por luminarias con tecnología tipo LED, tomando en cuenta las luminarias instaladas en las aulas.
- Realizar el dimensionamiento de conductores y protecciones con base al número de luminarias establecidas en la simulación.
- Levantar diagramas unifilares.
- Desarrollar un algoritmo de control utilizando un PLC que permita la automatización del sistema de iluminación por piso y por aulas.

Cabe destacar que estos requerimientos han sido planteados por las autoridades del Departamento de Formación Básica.

3 RESULTADOS

3.1 PROPUESTA PLANTEADA

REEMPLAZO DE LUMINARIAS POR TECNOLOGÍA LED

Se ha realizado una revisión de los pisos en mención para el reemplazo de luminarias tipo LED, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Número de luminarias a ser reemplazadas

Piso	Número de luminarias de otra tecnología	Numero de luminarias tipo LED
3	68	28
4	25	88
5	8	118
6	2	128
Total	103	362

Tomando en cuenta los datos anteriores se deben reemplazar 103 luminarias, pero con el rediseño y las pruebas realizadas en DIALUX es necesario 174 luminarias. Para justificar este punto en la Tabla 3.2 se muestra una comparación entre los tubos LED y fluorescentes.

Tabla 3.2. Tabla comparativa entre tubos LED y fluorescentes, [10]

Tubos Led	Tubos fluorescentes
Producen una luz fija y constante que no produce cansancio en la visión.	La luz es intermitente, imperceptible al ojo humano, pero a la larga produce cansancio y molestia en la visión.
Están contruidos con materiales reciclables y seguros.	Utilizan materiales que no son reciclables además que son peligros y nocivos como el mercurio o el argón.
Vida útil duradera hasta 30 000 horas.	Duran entre 5 000 a 8 000 horas.
Bajo consumo eléctrico.	Mayor consumo eléctrico.
Eficiencia hasta un 85%.	Eficiencia del 48%.
Precio asequible.	Precio bajo.

Si bien es cierto que la inversión a corto plazo puede resultar un tanto elevada, a largo plazo dicha inversión será recompensada en ahorro económico en el pago de planillas eléctricas, además hoy en día la tecnología LED ha bajado sus costos de producción y es asequible a cualquier tipo de consumidor. En la Figura 3.1 se muestra la luminaria LED que se recomienda utilizar para reemplazar las luminarias de otras tecnologías, debido a que esta es la que se instaló en la reestructuración del sistema de iluminación del DFB, específicamente en las aulas de clases.



Figura 3.1. Luminaria Sylvania *Waterproof* LED 36W 6500K, [11]

NIVELES DE ILUMINACIÓN CON BASE EN LA NORMA UNE-EN 12464-1

Con base en la norma UNE y el reemplazo de luminarias sugerido, se establecen los niveles de iluminación según las distintas áreas de cada piso. Para cumplir con este requerimiento se verificarán dichos valores realizando una simulación utilizando el *software* DIALux evo.

En cuanto a la escala de color que maneja DIALux se la ha ido modificando en función del nivel de luminosidad requerido en las diferentes áreas, así como su color de apreciación a rojo. Por ejemplo, en la Figura 3.2 se muestra una escala de 500 luxes para el aula de clase, en las simulaciones los espacios se marcarán en color rojo cuando a estos les esté llegando 500 (Lux) o superior.

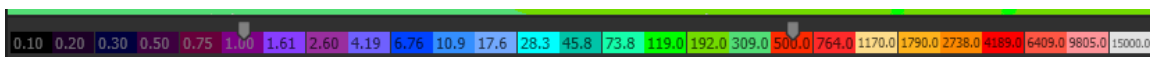


Figura 3.2. Escala de colores para la medición en luxes

Cabe mencionar que para las simulaciones de aulas, pasillos y gradas se han utilizado luminarias con similares características a las que están instaladas actualmente, ya que los fabricantes de dichas luminarias no se encuentran en la biblioteca del *software*.

Además de ello, se realizaron mediciones reales con la ayuda de un luxómetro en las áreas donde hubo cambio de luminarias y en donde es visible una falta de iluminación (cuartos de baños).

Los resultados obtenidos por medio de la simulación se encontrarán en el Anexo V, adicionalmente el archivo de DIALux podrá ser descargado escaneando el código QR de la Figura 3.3.



Figura 3.3. Código QR para el archivo en DIALux

(Enlace: <https://n9.cl/bo409>)

- **Aulas**

En la Figura 3.4 se observa la recreación de un aula de clase, mientras que en la Figura 3.5 se observan los niveles de iluminación por medio de colores siendo el rojo el que representa 500 (Lux).



Figura 3.4. Recreación de un aula de clase

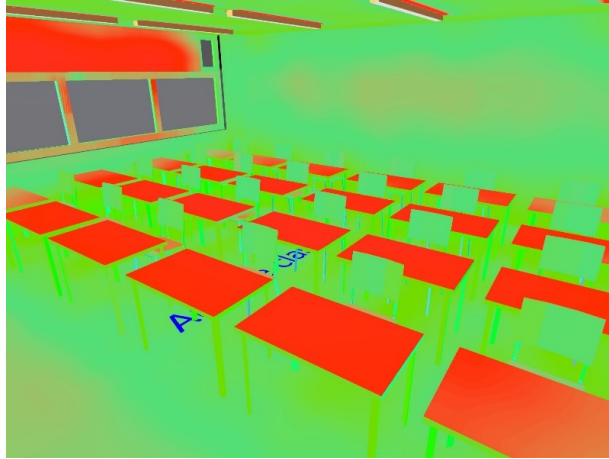


Figura 3.5. Luxes en escala de colores en aula de clase

En la Tabla 3.3 se detallan las mediciones realizadas con el luxómetro en dos aulas de clases.

Tabla 3.3. Mediciones realizadas en aulas de clases

Mediciones	Aula 305	Aula 609
Punto 1	525 (Lux)	632 (Lux)
Punto 2	525 (Lux)	575 (Lux)
Punto 3	584 (Lux)	480 (Lux)
Punto 4	482 (Lux)	360 (Lux)
Punto 5	510 (Lux)	526 (Lux)
Punto 6	514 (Lux)	586 (Lux)
Punto 7	286 (Lux)	493 (Lux)
Punto 8	523 (Lux)	571 (Lux)
Promedio	493,63 (Lux)	527,88 (Lux)

- **Baños**

SS. HH Hombres

En la Figura 3.6 se muestra la recreación del baño de los hombres, mientras que en la Figura 3.7 están los niveles de iluminación, pero en este caso 200 (Lux) es lo que se muestra en color rojo.



Figura 3.6. Recreación del baño de los hombres

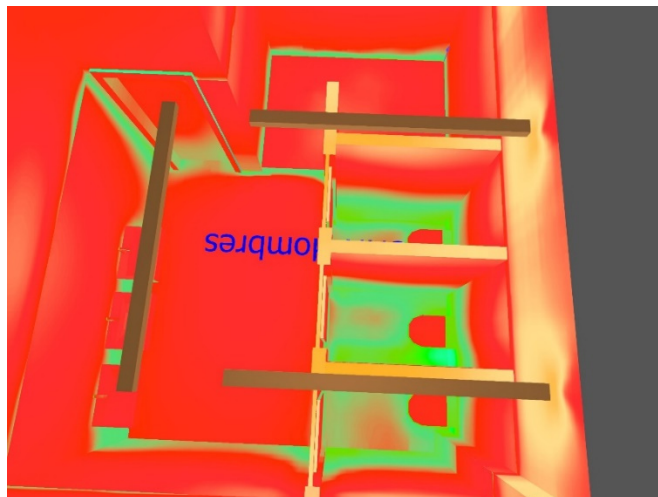


Figura 3.7. Luxes en escala de colores en baño de hombres

A continuación, en la Tabla 3.4 se muestran los datos obtenidos mediante el uso del luxómetro en el baño de los hombres.

Tabla 3.4. Mediciones realizadas en el baño de hombres

Mediciones	Baño 5to piso
Punto 1	107,5 (Lux)
Punto 2	109,6 (Lux)
Punto 3	31,2 (Lux)
Punto 4	132 (Lux)
Promedio	95,08 (Lux)

SS. HH Mujeres

En la Figura 3.8 se encuentra el baño de las mujeres recreado por medio del *software*. En la Figura 3.9 se encuentra el estudio lumínico mediante colores que al igual que el baño de los hombres el rojo representa 200 (Lux).



Figura 3.8. Recreación del baño de las mujeres

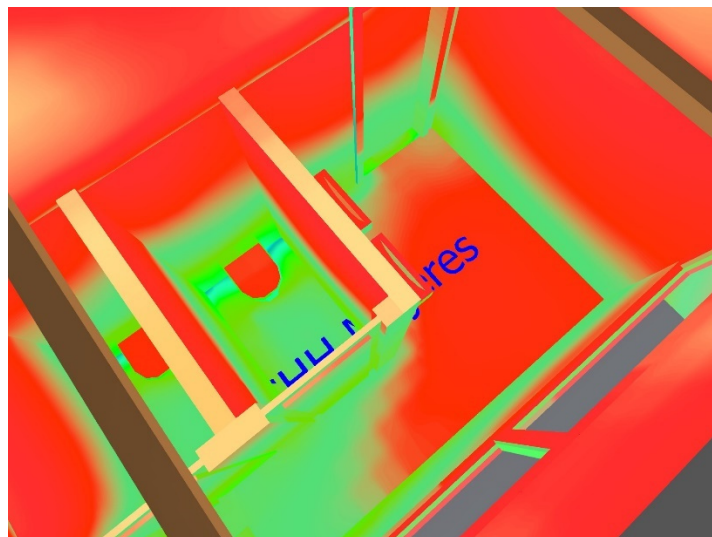


Figura 3.9. Luxes en escala de colores en baño de mujeres

En la Tabla 3.5 se muestran los datos medidos en el baño de las mujeres del quinto piso.

Tabla 3.5. Mediciones realizadas en el baño de mujeres

Mediciones	Baño 5to piso
Punto 1	57,3 (Lux)
Punto 2	73,1l (Lux)
Punto 3	76 (Lux)
Punto 4	36,8 (Lux)
Punto 5	126,3 (Lux)
Promedio	73,9 (Lux)

- **Pasillos**

Pasillo aulas

En la Figura 3.10 se encuentra la representación del pasillo hacia las aulas, en la Figura 3.11 se encuentran los niveles de iluminación donde el rojo representa los espacios iluminados con 100 (Lux) o más.

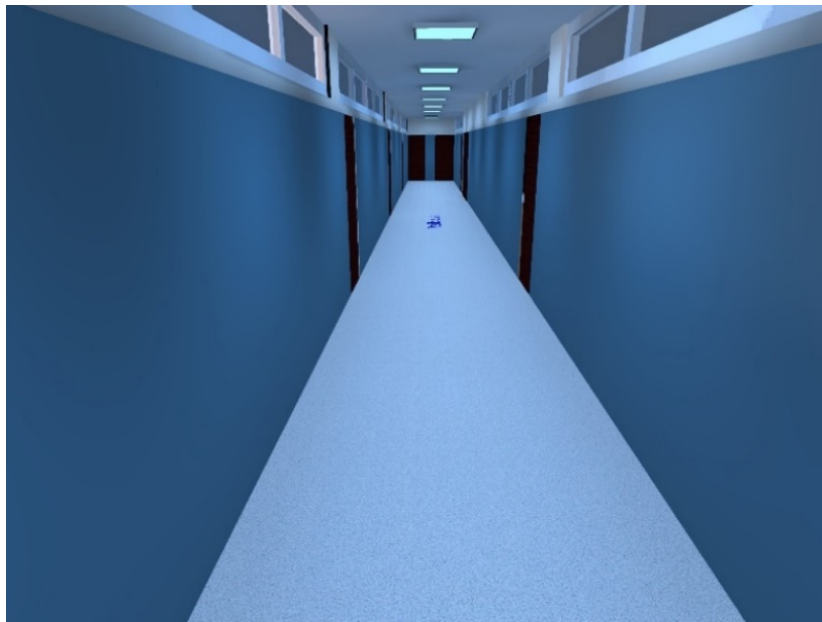


Figura 3.10. Recreación del pasillo hacia aulas

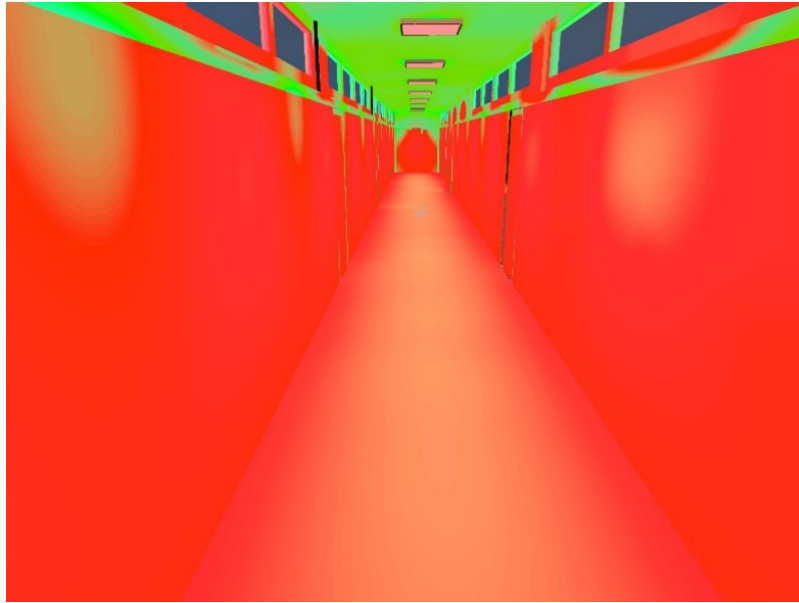


Figura 3.11. Luxes en escala de colores en pasillo hacia aulas

En la Tabla 3.6 se detallan los datos obtenidos con el luxómetro en el quinto piso.

Tabla 3.6. Mediciones realizadas en pasillo del quinto piso

Mediciones	Pasillo Aulas
Punto 1	138,6 (Lux)
Punto 2	267 (Lux)
Punto 3	300 (Lux)
Punto 4	250 (Lux)
Punto 5	202 (Lux)
Punto 6	259 (Lux)
Punto 7	292 (Lux)
Punto 8	288 (Lux)
Promedio	248,18 (Lux)

Pasillo central

Para una mejor visualización, a este pasillo se lo ha dividido en dos partes, la primera que se observa en la Figura 3.12 se encuentra junto a los cuartos de baños, mientras que la segunda parte es la que se encuentra cerca de las gradas, tal y como se visualiza en la Figura 3.13.



Figura 3.12. Pasillo central junto a los baños

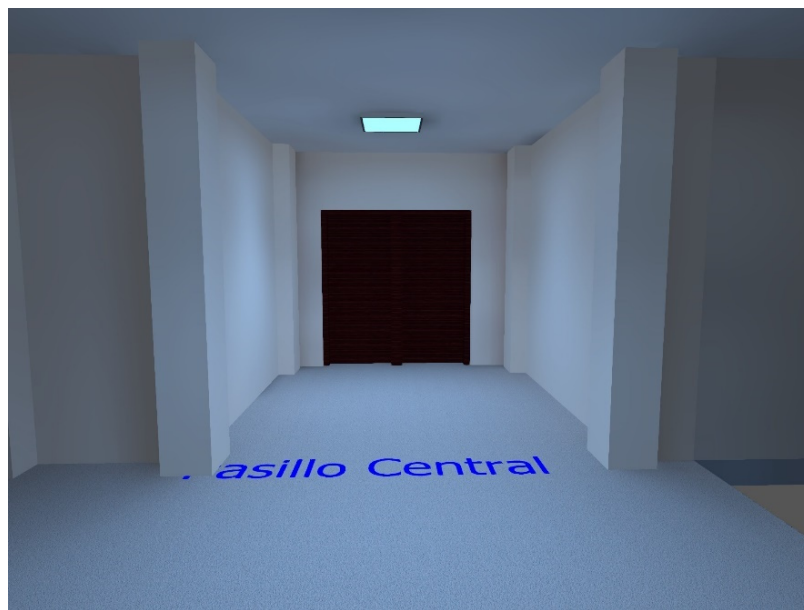


Figura 3.13. Pasillo central junto a las gradas

En la Figura 3.14 se muestran los niveles de iluminación del pasillo central junto a los baños, mientras que la Figura 3.15 se representa el pasillo central junto a las gradas. Similar a lo que ocurre en el pasillo hacia las aulas, ambas figuras se encuentran con una escala de 100 (Lux) siendo el rojo el color que lo representa.

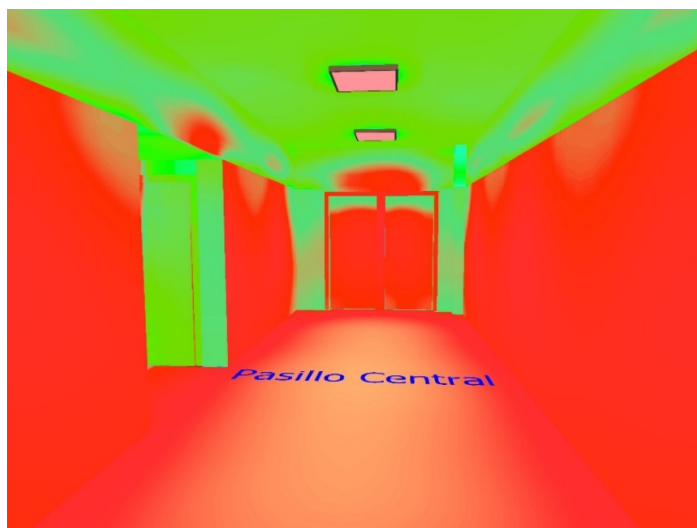


Figura 3.14. Luxes en escala de colores en pasillo central junto a los baños

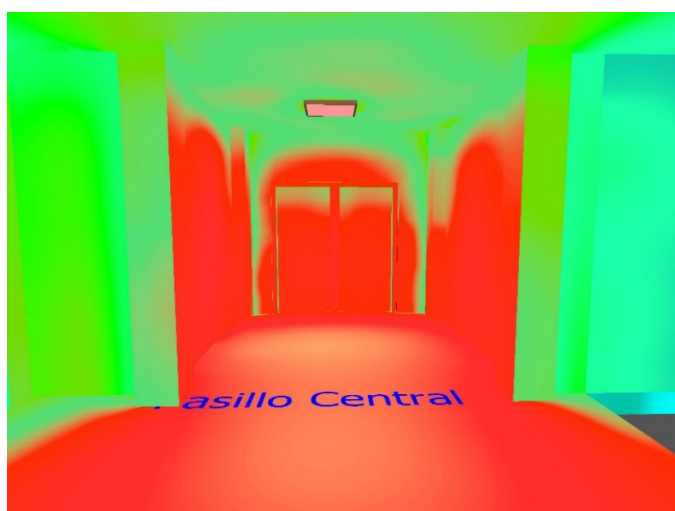


Figura 3.15. Luxes en escala de colores en pasillo central junto a las gradas

A continuación, en la Tabla 3.7 se muestran las mediciones con el luxómetro en el pasillo central del quinto piso.

Tabla 3.7. Mediciones realizadas en pasillo central

Mediciones	Pasillo central
Punto 1	160,8 (Lux)
Punto 2	279 (Lux)
Punto 3	221 (Lux)
Punto 4	282 (Lux)
Punto 5	318 (Lux)
Punto 6	295 (Lux)
Promedio	259,3 (Lux)

- **Gradas**

En la Figura 3.16 se encuentra la recreación de las gradas del edificio, mientras que en la Figura 3.17 se muestran los niveles de iluminación representados por los colores, siendo 100 (Lux) el color rojo.



Figura 3.16. Recreación de las gradas del edificio

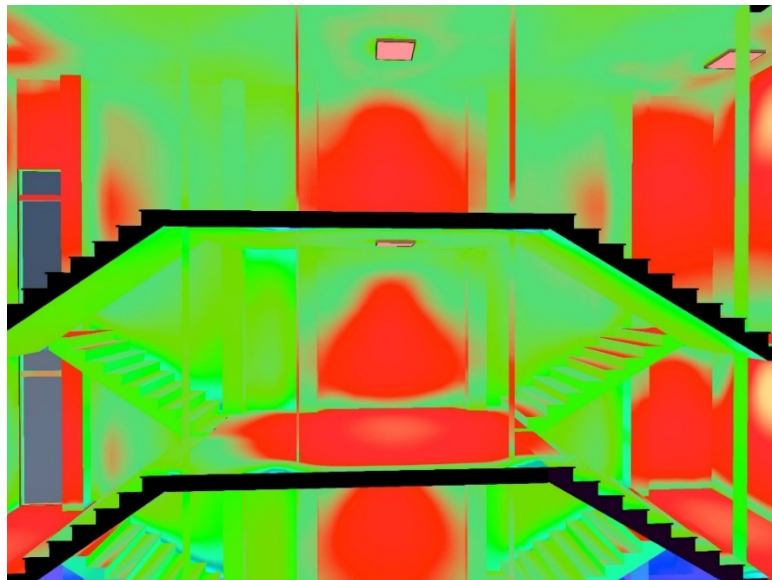


Figura 3.17. Luxes en escala de colores en las gradas

En la Tabla 3.8 se indican los datos obtenidos mediante el luxómetro.

Tabla 3.8. Mediciones realizadas en las gradas

Mediciones	Gradas de subida	Gradas de bajada
Punto 1	78,7 (Lux)	76 (Lux)
Punto 2	70 (Lux)	77,4 (Lux)
Punto 3	64 (Lux)	72,3 (Lux)
Punto 4	116 (Lux)	133,6 (Lux)
Promedio	82,18 (Lux)	89,83 (Lux)

- **Oficinas**

Todas las oficinas a continuación están diseñadas con un valor lumínico de 300 (Lux), en la escala de colores dicho valor lumínico se representará mediante el color rojo.

Oficina 302

En la Figura 3.18 se visualiza la recreación de la oficina 302, mientras que en la Figura 3.19 se aprecia la escala de colores para dicha oficina.



Figura 3.18. Recreación de la oficina 302

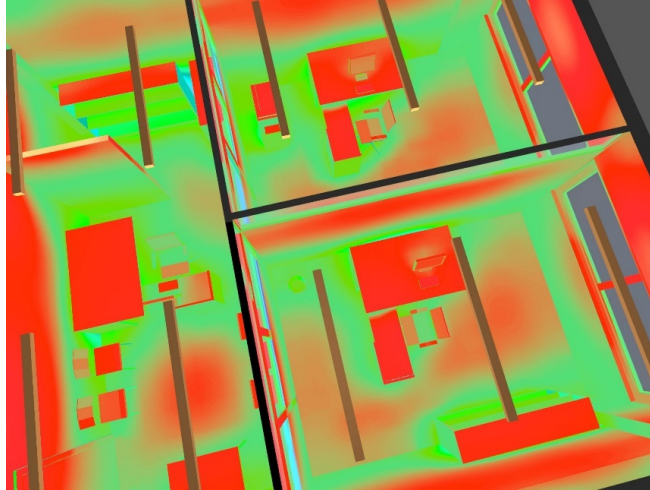


Figura 3.19. Luxes en escala de colores en oficina 302

Oficina 304

La Figura 3.20 muestra la recreación de la oficina 304, la cual también aplica a oficinas con seis cubículos, A continuación, la Tabla 3.9 muestra a que número de oficinas aplicaría este diseño.

Tabla 3.9. Oficinas con diseño de seis cubículos

# Piso	Oficinas
3	304, 309
4	403, 404
5	504
Total	5

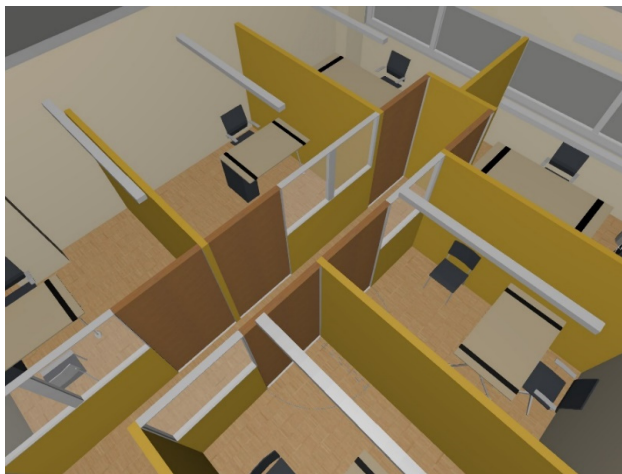


Figura 3.20. Recreación de la oficina 304

La Figura 3.21 trata acerca de los niveles de iluminación mediante la escala de colores.

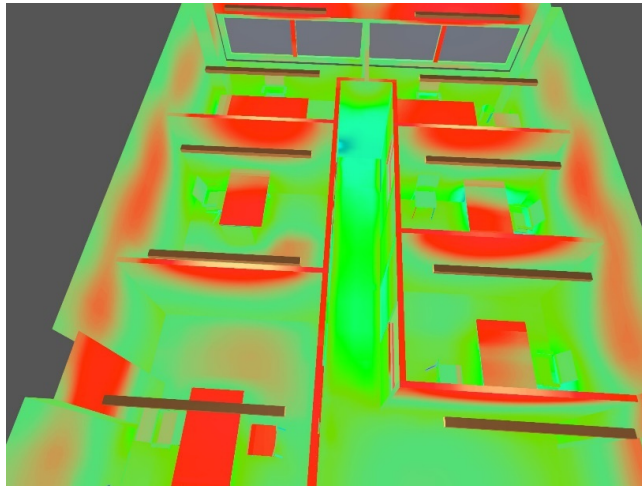


Figura 3.21. Luxes en escala de colores en oficina 304

Oficina 306

La Figura 3.22 muestra la recreación de la oficina 306, la cual posee cuatro cubículos, quiere decir que este diseño también aplica a las siguientes oficinas que se encuentran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Oficinas con diseño de cuatro cubículos

# Piso	Oficinas
3	306, 307,308
4	405
Total	4

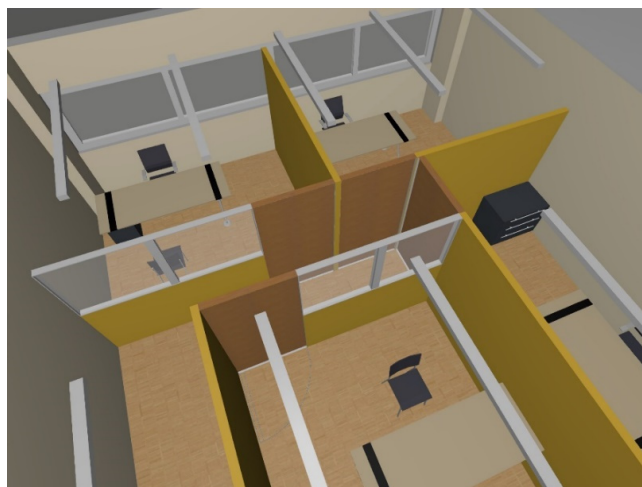


Figura 3.22. Recreación de la oficina 306

La Figura 3.23 muestra la escala de colores para la oficina 306.

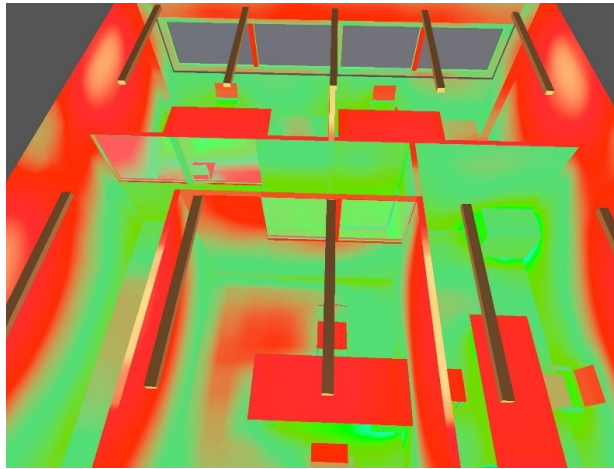


Figura 3.23. Luxes en escala de colores en oficina 306

Oficina 310 y 311 (Centro de cómputo)

En la Figura 3.24 se muestra la recreación del centro de cómputo, mientras que la Figura 3.25 se visualiza su respectiva escala de colores, el rojo representa 300 (Lux).



Figura 3.24. Recreación de la oficina 310 y 311

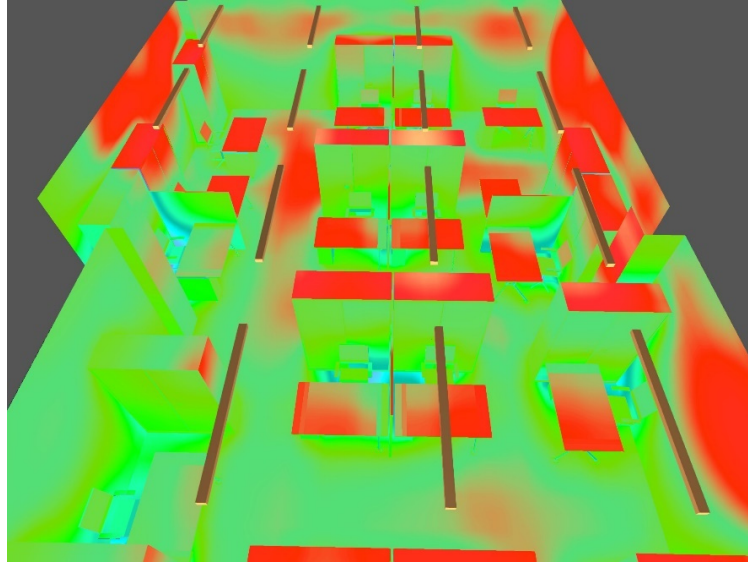


Figura 3.25. Luxes en escala de colores en oficina 310 y 311

- **Sala de reuniones**

Oficina 303

La Figura 3.26 muestra la respectiva recreación de la oficina 303, en cambio la Figura 3.27 muestra la simulación de la escala de colores en esta área, donde el color rojo representa 300 (Lux).

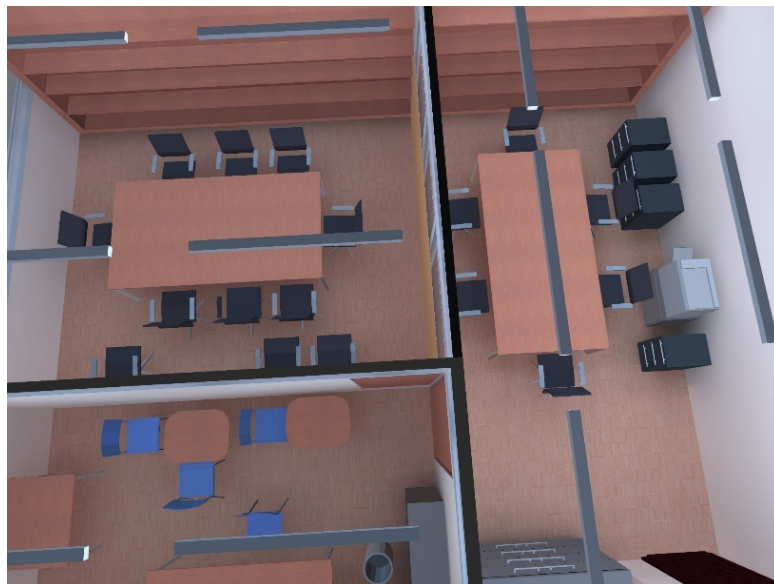


Figura 3.26. Recreación de la oficina 303

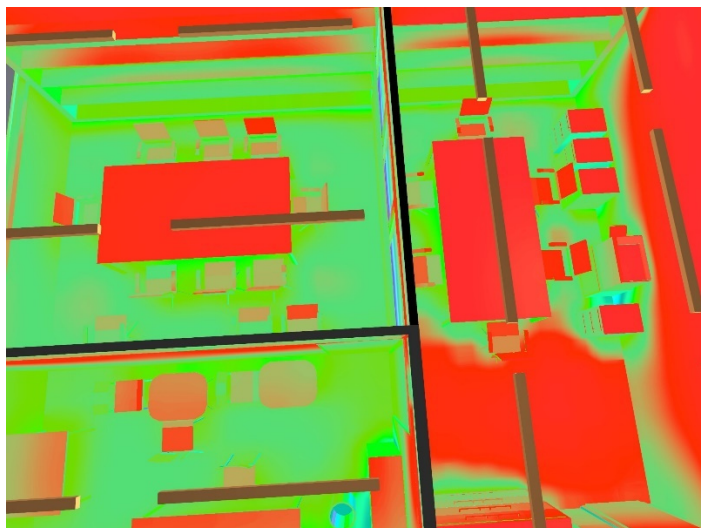


Figura 3.27. Luxes en escala de colores en oficina 303

Se debe tomar en cuenta que las áreas se replican en los cuatro pisos de estudio.

DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES

Para el dimensionamiento de protecciones y calibre de los conductores se debe tomar en cuenta la potencia total instalada de cada circuito de iluminación. A continuación, en la Tabla 3.11 se muestran algunos de los calibres más comunes, así como también la corriente que soportan.

Tabla 3.11. Calibre de conductores THHN con sus corrientes respectivas, [12]

Conductor	Sección (mm²)	Corriente (A)
14 AWG	2,08	25
12 AWG	3,31	30
10 AWG	5,26	40
8 AWG	8,37	55
6 AWG	13,3	75
4 AWG	21,2	70

En el Anexo VI se encuentran los datos técnicos de las luminarias para la realización de los cálculos.

A continuación, se mostrarán los cálculos realizados en las distintas áreas.

- **Aulas**

En la Tabla 3.12 se encuentran los datos relevantes para realizar los cálculos.

Tabla 3.12. Datos necesarios para la realización de cálculos

Elemento	Cantidad	Potencia de entrada (W)	Voltaje de alimentación (V)	Factor de potencia
Tubos LED T12 2*18 W	10	36	110	0,9

Utilizando el método por caída de voltaje y tomando en cuenta la potencia que consume cada lámpara, se obtiene una potencia total consumida de 360 (W).

Para la obtención de la corriente total se optó por un factor de seguridad sobredimensionado al 25%, tal y como se aprecia en la Ecuación 3.1.

$$P_t = P_{tc} \cdot 125\%$$

Ecuación 3.1. Potencia total en función del factor de seguridad

Donde:

P_t : Potencia total (W).

P_{tc} : Potencia total consumida por las lámparas (W)

125% : Porcentaje incluido como factor de seguridad

Usando la Ecuación 3.1 se obtiene:

$$P_t = 450 \text{ (W)}$$

Tomando en cuenta el valor calculado empleando la Ecuación 3.1 y la Ecuación 3.2 se obtiene la corriente del sistema.

$$I = \frac{P_t}{V \cdot fp}$$

Ecuación 3.2. Ley de Ohm

Donde:

I : Intensidad de corriente (A)

P_t : Potencia total consumida (W)

V : Voltaje de alimentación (V)

fp : Factor de potencia

Según la ficha técnica de la luminaria el factor de potencia es mayor a 0,5, para este caso se ha optado por utilizar un valor de 0,9 el cual es común entre lámparas LED [13].

Reemplazando se obtiene:

$$I = \frac{450 \text{ (W)}}{110 \text{ (V)} \cdot 0,9}$$

$$I = 4,55 \text{ (A)}$$

Tomando dicho valor se procede a calcular la sección mínima del conductor mediante la Ecuación 3.3.

$$S = \rho \frac{2 \cdot L \cdot I}{u}$$

Ecuación 3.3. Sección mínima del conductor

Donde:

S : Sección mínima del conductor (mm²)

ρ : Resistividad del cobre ($\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$)

L : Longitud del conductor (m)

I : Intensidad de corriente (A)

u : Caída de tensión permisible (V)

La norma NEC establece una caída de tensión permisible del 3%. Al ser un circuito que opera con 110 (V) se obtiene el siguiente resultado por medio de la Ecuación 3.4.

$$u = 3\% \cdot 110 \text{ (V)} = 3,3 \text{ (V)}$$

Ecuación 3.4. Caída de tensión permisible

En cuanto a la longitud del conductor se tomará en cuenta la distancia en la que se encuentra el aula más lejana en el piso seis que será el caso más crítico, la longitud del conductor será aproximadamente 30 (m).

Considerando el resultado de la Ecuación 3.4 y la longitud del conductor, estos valores son reemplazados en la Ecuación 3.3, de la que se obtiene:

$$S = 0,017 \left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \cdot \frac{2 \cdot 30 \text{ (m)} \cdot 4,55 \text{ (A)}}{3,3 \text{ (V)}}$$

$$S = 1,4 \text{ (mm}^2\text{)}$$

El resultado corresponde a un conductor calibre 15 AWG, sin embargo, la norma establece que para circuitos de iluminación se debe utilizar un calibre mínimo 14 AWG.

Los valores calculados también se aplican para las siguientes oficinas, las cuales se detallan a continuación mediante la Tabla 3.13, esto porque en las simulaciones en DIALux se utilizaron diez luminarias del mismo tipo.

Tabla 3.13. Oficinas en las que se replica este cálculo

No. Piso	Oficinas
3	301, 302, 304, 305, 306, 307, 308 y 309
4	403, 404, 405
5	504

- **Pasillo central y baños**

En la Tabla 3.14 se encuentran los datos relevantes para realizar los cálculos en estas áreas.

Tabla 3.14. Datos necesarios para la realización de cálculos

Elemento	Cantidad	Potencia de entrada (W)	Voltaje de alimentación (V)	Factor de potencia
Tubos LED T12 2*18 W	6	36	110	0,9
Ojo de buey sobrepuesto	1	24	110	0,9
Panel LED	5	40	110	0,9

Anteriormente se mencionó que se propone el cambio de las luminarias que no sean LED, en los baños existen 2 tubos fluorescentes y un foco ahorrador en total. Para el cálculo del calibre del conductor se utilizará el mismo tipo de luminarias utilizadas en las aulas.

Tomando en cuenta dicha información, la potencia total consumida por las lámparas será de 440 (W).

Aplicando la Ecuación 3.1 y reemplazando los valores se obtiene:

$$P = 550 \text{ (W)}$$

Al aplicar la Ecuación 3.2 y reemplazar valores se obtiene:

$$I = 5,56 \text{ (A)}$$

Con el valor de la intensidad de corriente obtenido y reemplazando los respectivos valores en la Ecuación 3.3 el resultado es el siguiente.

$$S = 0,57 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Cabe mencionar que el valor de longitud del conductor utilizada en el reemplazo fue de 10 (m) ya dichas áreas de estudio se encuentran cerca del tablero de distribución, en donde nuevamente se recomienda utilizar un conductor calibre 14 AWG.

- **Pasillo de aulas**

En la Tabla 3.15 se encuentran los datos relevantes para realizar los cálculos para el pasillo hacia las aulas.

Tabla 3.15. Datos necesarios para la realización de cálculos

Elemento	Cantidad	Potencia de entrada (W)	Voltaje de alimentación (V)	Factor de potencia
Panel LED	10	40	110	0,9

Usando la información de la Tabla 3.15, la potencia total consumida de por las lámparas es de 400 (W).

Posteriormente al aplicar la Ecuación 3.1 se obtiene como resultado:

$$P = 500 \text{ (W)}$$

Al aplicar la Ecuación 3.2 y reemplazar valores se obtiene:

$$I = 5,05 \text{ (A)}$$

Con el valor de la intensidad de corriente obtenido y reemplazando los respectivos valores en la Ecuación 3.3 el resultado es el siguiente.

$$S = 1,56 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Al ser un pasillo sumamente amplio se optó por utilizar un valor de 30 (m) como longitud de conductor. El resultado muestra que se debe utilizar calibre 14 AWG.

- **Gradas**

En la Tabla 3.16 se encuentran los datos relevantes para realizar los cálculos.

Tabla 3.16. Datos necesarios para la realización de cálculos

Elemento	Cantidad	Potencia de entrada (W)	Voltaje de alimentación (V)	Factor de potencia
Panel LED	2	40	110	0,9

Usando la información de la Tabla 3.16, la potencia total consumida de por las lámparas es de 80 (W).

Posteriormente al aplicar la Ecuación 3.1 se obtiene como resultado:

$$P = 100 \text{ (W)}$$

Al aplicar la Ecuación 3.2 y reemplazar valores se obtiene:

$$I = 0,81 \text{ (A)}$$

Con el valor de la intensidad de corriente obtenido y reemplazando los respectivos valores en la Ecuación 3.3 el resultado es el siguiente.

$$S = 0,25 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Se optó por utilizar un valor de 30 (m) como longitud de conductor. El resultado muestra que se debe utilizar calibre 14 AWG.

Cabe mencionar que el resultado aplica para las gradas de subida como bajada de un piso.

- **Oficinas**

Oficina 303

En la Tabla 3.17 se encuentran los datos relevantes para realizar los cálculos.

Tabla 3.17. Datos necesarios para la realización de cálculos

Elemento	Cantidad	Potencia de entrada (W)	Voltaje de alimentación (V)	Factor de potencia
Tubos LED T12 2*18 W	12	36	110	0,9

Con la información de la Tabla 3.17, la potencia total consumida de por las lámparas es de 432 (W).

Posteriormente al aplicar la Ecuación 3.1 se obtiene como resultado:

$$P = 540 \text{ (W)}$$

Al aplicar la Ecuación 3.2 y reemplazar valores se obtiene:

$$I = 5,45 \text{ (A)}$$

Con el valor de la intensidad de corriente obtenido y reemplazando los respectivos valores en la Ecuación 3.3 el resultado es el siguiente.

$$S = 1,68 \text{ mm}^2$$

Se optó por utilizar un valor de 30 (m) como longitud de conductor. El resultado muestra que se debe utilizar calibre 14 AWG.

Oficina 310 y 311

En la Tabla 3.18 se encuentran los datos relevantes para realizar los cálculos.

Tabla 3.18. Datos necesarios para la realización de cálculos

Elemento	Cantidad	Potencia de entrada (W)	Voltaje de alimentación (V)	Factor de potencia
Tubos LED T12 2*18 W	14	36	110	0,9

Con la información de la Tabla 3.18, la potencia total consumida de por las lámparas es de 504 (W).

Posteriormente al aplicar la Ecuación 3.1 se obtiene como resultado:

$$P = 630 \text{ (W)}$$

Al aplicar la Ecuación 3.2 y reemplazar valores se obtiene:

$$I = 6,36 \text{ (A)}$$

Con el valor de la intensidad de corriente obtenido y reemplazando los respectivos valores en la Ecuación 3.3 el resultado es el siguiente.

$$S = 1,31 \text{ mm}^2$$

Se optó por utilizar un valor de 20 (m) como longitud de conductor ya que está cerca del tablero de distribución, pero al combinar dos oficinas se obtiene una mayor superficie. El resultado muestra que se debe utilizar calibre 14 AWG.

La Tabla 3.19 muestra un resumen de los circuitos de iluminación con sus respectivos conductores calculados y el tipo que recomienda la norma NEC.

Tabla 3.19. Resumen de conductores en las áreas de estudio

Circuito de iluminación	Conductor	Cantidad
Aulas	THHN 14 AWG	3
Oficinas (10 luminarias)	THHN 14 AWG	3
Oficina 33	THHN 14 AWG	3
Oficina 310 y 311	THHN 14 AWG	3
Pasillo central y baños	THHN 14 AWG	3
Pasillo de aulas	THHN 14 AWG	3
Gradas	THHN 14 AWG	3

DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS, ELECTRÓNICOS Y ELECTROMECÁNICOS

Interruptores termomagnéticos

Para la selección de los interruptores termomagnéticos se ha optado por utilizar la curva C que va desde calibres que soportan 6 (A) hasta 63 (A) en ambientes residenciales e instalaciones de baja potencia. En cuanto a su valor dependen de la corriente calculada previamente, la corriente del *breaker* debe ser mayor a la calculada y menor o igual que la corriente que soporta el cable.

Teniendo esas consideraciones en mente en la Tabla 3.20 se encuentran los valores de los interruptores termomagnéticos para cada tipo de circuito de iluminación.

Tabla 3.20. Circuitos de iluminación con sus respectivos *breakers*

Circuito de iluminación	Corriente calculada (A)	Breaker
Aulas	4,55	1P C6A
Oficinas (10 luminarias)	4,55	1P C6A
Pasillo central y baños	5,56	1P C6A
Pasillo de aulas	5,05	1P C6A
Gradas	0,81	1P C6A
Oficina 303	5,45	1P C6A
Oficina 310 y 311	6,36	1P C10A

Disyuntor Diferencial

Tomando en cuenta que los tableros de distribución son alimentados por una línea trifásica con neutro proveniente del tablero principal, se necesita que el diferencial sea de 4 polos y con disparo de 30 mA para asegurar el bienestar de la persona que manipule dichos tableros de distribución.

Para el cálculo del disyuntor se realizó una sumatoria de las corrientes totales de las áreas que conforman un piso siendo multiplicado por un factor de seguridad del 25%.

Siendo que los circuitos comunes de iluminación para los cuatro pisos son: pasillo central con baños, pasillo de aulas y gradas, el valor de la corriente total corresponde a 11,42 (A), por lo que según la Ecuación 3.5 se tiene lo siguiente:

$$I_p = (11,42 + \sum I_{ta} + \sum I_{to}) \cdot 125\%$$

Ecuación 3.5. Potencia total del piso en función del factor de seguridad

Donde:

I_p : Corriente total del piso (A).

$\sum I_{ta}$: Sumatoria de corrientes totales de aulas de clase (A)

$\sum I_{to}$: Sumatoria de corrientes totales de oficinas (A)

11,42 : Resultado de la sumatoria de circuitos comunes de iluminación (A)

125% : Porcentaje incluido como factor de seguridad

Teniendo en consideración lo antes mencionando los resultados se observan en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21. Corriente total de cada piso y valor de disyuntor diferencial

Piso	I. Total aulas (A)	I. Total oficinas (A)	I. Total piso (A)	Disyuntor
3	1x 4,55	(7x4,55) +(1x5,45) +(1x6,36)	74,54	4P 80A
4	8x4,45	3x4,55	76,84	4P 80A
5	10x4,55	1x4,55	76,84	4P 80A
6	11x4,55	0	76,84	4P 80A

La Figura 3.28 muestra un disyuntor de 4 polos de 80 (A), a manera de ejemplo.



Figura 3.28. Interruptor diferencial 4P 80 (A) Schneider, [14]

Contadores

Para la selección de los contactores se tuvo en consideración los siguientes aspectos:

- Categoría del contactor
- Voltaje de la bobina del contactor
- Corriente de operación

En cuanto a la categoría del contactor se optó por la AC-1, la cual es ideal para trabajar con cargas resistivas como lo son las lámparas LED. Debido a que todo el sistema de iluminación propuesto opera con 110 (V_{AC}), es necesario que la bobina de alimentación del contactor sea de dicho valor de voltaje.

En la Tabla 3.22 se detalla el valor de los contactores para el circuito de las aulas y oficinas, ya que el resto de las áreas utilizarían sensores de presencia y no estarían conectados al PLC.

Tabla 3.22. Valor de contactores para las áreas de estudio

Área	Corriente calculada (A)	Valor de Contactor (A)
Aula	4,55	6
Oficinas (10 luminarias)	4,55	6
Oficina 303	5,45	6
Oficina 310 y 3011	6,36	7

Se ha colocado un contactor AC-1 de 6 (A) a 110 (V_{AC}) como ejemplo, tal y como se observa en la Figura 3.29.



Figura 3.29. Contactor AC-1 de 6 (A) CHINT, [15]

PLC

Se optó por utilizar el PLC S7 1200 con CPU 1214C principalmente por su amplio número de entradas y salidas digitales, adicionalmente posee un reloj interno que permite la programación de horarios como se verá posteriormente en el algoritmo de control.

Si bien es cierto que este PLC en particular posee varias entradas y salidas digitales, estas no son suficientes por lo que es necesario un módulo de expansión DI16x24 (V_{DC}) / DQ 16xRly. La Figura 3.30 muestra el PLC mencionado.



Figura 3.30. PLC SIEMENS S7 1200 CPU 1214C, [16]

3.2 SISTEMA DE CONTROL

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Para la automatización del sistema se ha optado por utilizar un PLC S7-1200 CPU 1214C, tal y como se mencionó con anterioridad, para su configuración y programación se utilizó el *software* TIA Portal V15.

Algoritmo de control

El algoritmo de control se encuentra en el Anexo VII, así como también en la Figura 3.31 se encuentra el enlace mediante código QR del archivo del programa.



Figura 3.31. Código QR del archivo del algoritmo de control

(Enlace: <https://n9.cl/202kx>)

Funcionamiento

Se ha realizado un diagrama de flujo donde se describe de manera gráfica el funcionamiento del sistema, dicho diagrama se encuentra en el Anexo VIII.

En él se evidencian sus dos modos de trabajo el modo PISO y el modo AULA, se lo ha denominado de esta manera debido a que existe un mayor número de aulas, sin embargo, el mismo diagrama puede ser aplicado en las oficinas.

Cada modo de trabajo cuenta con sub-modos los cuales son manual y temporizado, donde el modo temporizado utiliza el reloj interno del PLC para encender o apagar las lámparas en el horario programado, mientras que si se selecciona el modo manual se usarán interruptores o pulsadores para la conexión o desconexión de las lámparas según el modo escogido.

Adicionalmente, escaneando el código QR de la Figura 3.32 se encuentra un video explicando el funcionamiento del algoritmo de control, el cual se realizó en el Laboratorio de Tecnología Industrial (LTI) de la Facultad de la ESFOT.



Figura 3.32. Código QR del video explicativo del algoritmo de control

(Enlace: <https://n9.cl/y725o>)

Diagrama I/O PLC

En la Figura 3.33 se visualiza el diagrama de entradas y salidas del PLC, se ha tomado como referencia el sexto piso del edificio y dicho diagrama se replicaría al resto de pisos.

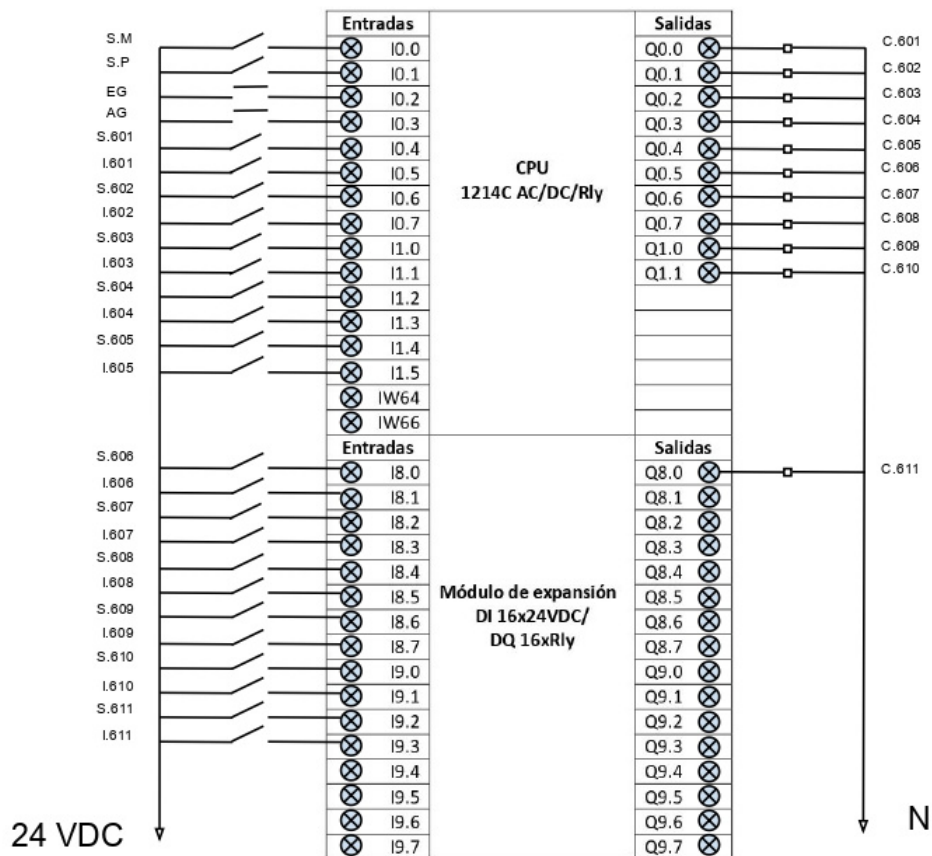


Figura 3.33. Diagrama de entradas y salidas al PLC

Diagrama de control

Se ha realizado un diagrama de control utilizando el *software* CADe_SIMU, que se visualiza en la Figura 3.34, se debe mencionar que dicho *software* posee ciertas limitaciones como por ejemplo para este CPU de PLC solo existe un módulo de expansión de 8 entradas digitales y 8 salidas tipo relé, la única diferencia que radica con el módulo escogido es la cantidad de entradas y salidas, las conexiones con el CPU y demás elementos de maniobra se mantienen igual.

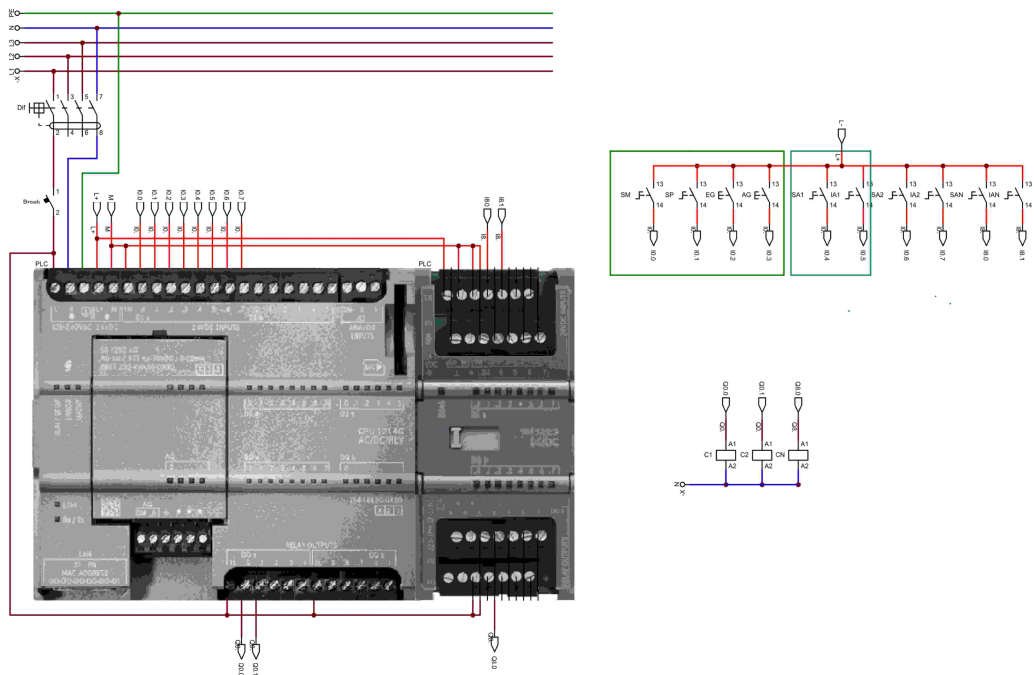
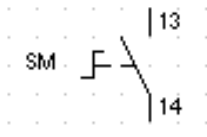
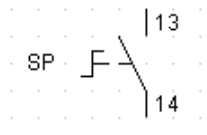
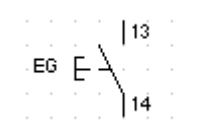
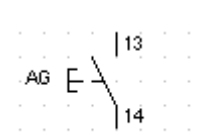
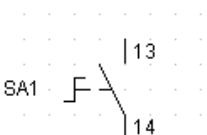
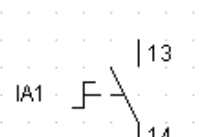
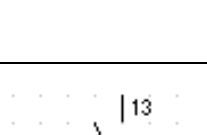
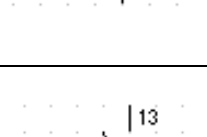


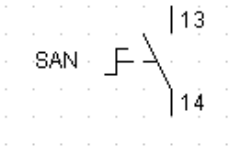
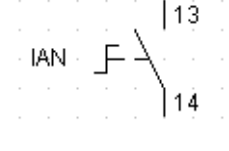
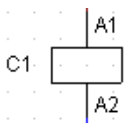
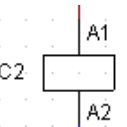
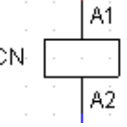
Figura 3.34. Diagrama de control o mando

En la Tabla 3.23 se encuentra la simbología del diagrama de control, así como también la descripción de la misma.

Tabla 3.23. Descripción de la simbología utilizada en el diagrama de control

Símbolo	Nombre	Descripción
	Línea 1, Línea 2, Línea 3, Neutro y Tierra	Conductores que llegan del tablero principal
	Disyuntor diferencial	Dispositivo de protección hacia las personas
	Interruptor termomagnético	Encargado de proteger al PLC contra cortocircuito y sobrecarga 1P 6 (A).

Símbolo	Nombre	Descripción
	Selector de Modo	Selecciona entre el modo PISO y modo AULA.
	Selector de Piso	Selecciona entre el modo manual o temporizado para el modo PISO.
	Pulsador de Encendido General	Pulsador que enciende todas las luminarias del piso en el modo manual del PISO.
	Pulsador de Apagado General	Pulsador que apaga la iluminación en el piso para el modo manual del modo PISO.
	Selector del aula 1	Para el aula 1 selecciona entre el modo manual o temporizado
	Interruptor del aula 1	Interruptor que enciende o apaga las lámparas del aula 1 cuando su selector se encuentra en modo manual.
	Selector del aula 2	Para el aula 2 selecciona entre el modo manual o temporizado
	Interruptor del aula 2	Interruptor que enciende o apaga las lámparas del aula 2 cuando su selector encuentra en modo manual.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Selector de aula en uso	Para el aula selecciona entre el modo manual o temporizado.
	Interruptor del aula en uso	Interruptor que enciende o apaga las lámparas del aula en uso si se encuentra en modo manual.
	Bobina del contactor C1	Bobina que se encarga del accionamiento de las luminarias del aula 1.
	Bobina del contactor C2	Bobina que se encarga del accionamiento de las luminarias del aula 2.
	Bobina del contactor CN perteneciente a cualquier aula en uso	Bobina que se encarga del accionamiento del aula en cuestión.

En la Figura 3.35, únicamente se han colocado tres aulas debido a que se puede visualizar de mejor manera en el diagrama de entradas y salidas, el recuadro en color verde representa los elementos de maniobra que estarían ubicados en un tablero de control en cada piso, mientras que en color azul se encuentran los elementos que estarían ubicados en cada aula de clase u oficina. Por cada aula u oficina se utilizarían un selector y un interruptor.

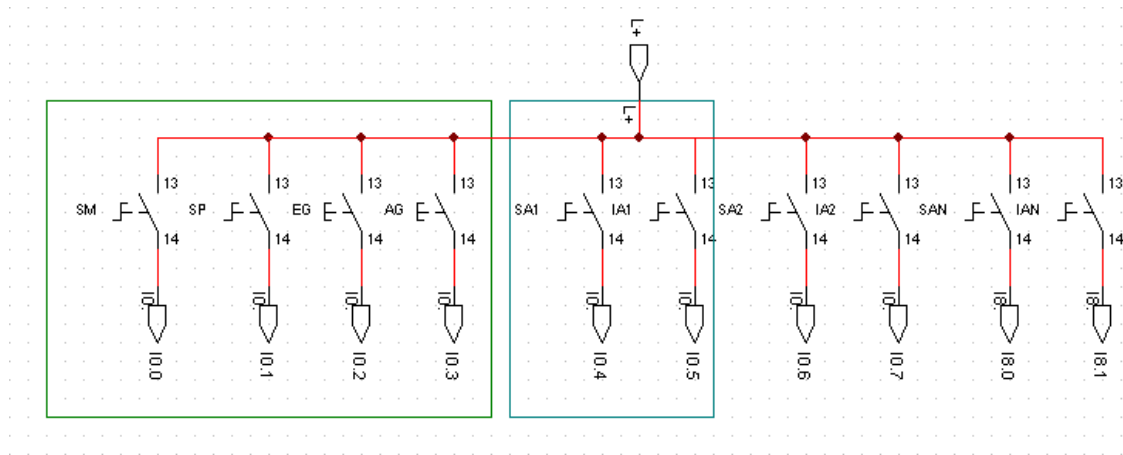


Figura 3.35. Conexión de entradas al PLC

En la Figura 3.36 se visualizan tres salidas físicas (contactores) que corresponden a las tres aulas de ejemplo, de igual forma se recomienda observar el diagrama de entradas y salidas al PLC, es decir en la Figura 3.33.

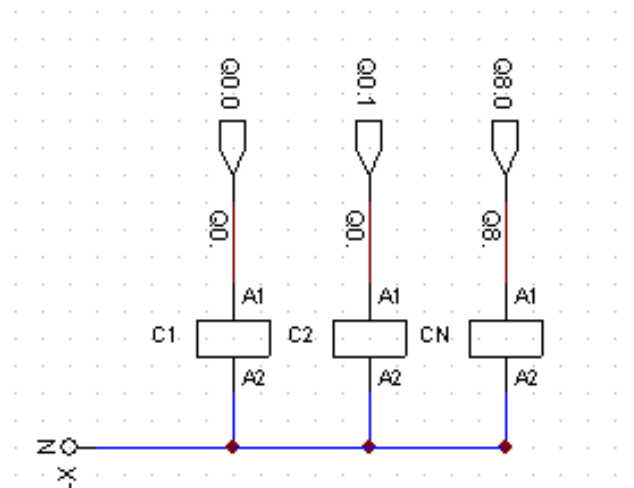


Figura 3.36. Conexión de salidas al PLC

3.3 DIAGRAMA UNIFILAR

Con base al estudio actual del DFB y a la propuesta planteada, en el Anexo IX se encuentra el diagrama unifilar del sistema de iluminación que se replicaría a los cuatro pisos de estudio.

3.4 ESTUDIO ECONÓMICO

En caso de una futura implementación se solicitó una cotización por medio de un proveedor local de los principales componentes del sistema propuesto. En la Tabla 3.24 se muestra la cotización con el proveedor INASEL Cia. Ltda, en el Anexo X también se pueden visualizar los precios de los elementos.

Tabla 3.24. Resumen de cotización

Elementos	Cantidad	INASEL Total
PLC S7 1200 CPU 1214C	1	616,200
Módulo de expansión E/S	1	473,850
Contactador 7 A	11	228,157
Interruptor diferencial	1	52,00
Breaker 1P 6 A	15	82,778
Selector 2 posiciones	13	211,673
Pulsador	2	23,660
Lámpara T8 LED	174	3 485,568
Cable flexible 14 AWG	100	38,400
Subtotal		5212,286
IVA 12%		625,4743
Total		5837,76

Cabe aclarar que las lámparas están cotizadas para los cuatro pisos de estudio, el resto de los elementos son solo para un piso, teniendo eso en cuenta el valor total asciende a los 11 639,53 dólares.

4 CONCLUSIONES

- Con base al estudio del estado actual del edificio se determina que en la reestructuración únicamente se cambiaron las luminarias más no el cableado y protecciones.
- En el piso cinco las luminarias de las aulas 501 y 502 están conectadas a un mismo interruptor termomagnético, en caso de falla eléctrica (cortocircuito o sobrecarga) en cualquiera de los dos ambientes, ambos quedan deshabilitados temporalmente hasta que se resuelva la falla, esto fue identificado mediante la visita técnica al DFB.
- Al realizar el estudio de carga y revisar los tableros de distribución, se evidenció que los circuitos no se encuentran etiquetados, lo que requirió de algunas visitas al edificio los fines de semana para identificarlos.
- Existe un cambio brusco de niveles de iluminación entre los pasillos (250 Lux) y gradas (100 Lux) lo que provoca un deslumbramiento en la persona que este transitando por estos medios, además que provoca una sensación de oscuridad en las gradas, principalmente en las noches.
- El DFB al ser un edificio el cual ha brindado sus servicios varios años implica que no es factible realizar cambios bruscos, por lo que utilizar un PLC como controlador es una opción viable, es mucho más común encontrarlo en el país debido a que también se lo utiliza en aplicaciones industriales y permite trabajar con el estado actual del edificio.
- Para el sistema se plantea que se utilice un interruptor por cada aula u oficina, si se mantienen el mismo número de interruptores se deberá tener en cuenta que cada uno de ellos representa una entrada física hacia al PLC, lo que implica un mayor número de módulos de expansión.
- El selector que se ocupa en el diseño posee dos estados lógicos 0 y 1, lo que quiere decir que los interruptores que controlan únicamente dos luminarias en las aulas de clases pueden ser reutilizados para que funcionen como selectores de modo manual o temporizado reduciendo así los costos para la posible implementación.
- El diagrama unifilar realizado tiene como objetivo mostrar los diferentes componentes y conexiones para la futura implementación del proyecto, además, dicho diagrama es muy importante para realizar modificaciones y mantenimiento

del sistema de iluminación. Se debe tomar en cuenta que el DFB no dispone de planos eléctricos de las instalaciones actuales.

- El algoritmo de control para el sistema de iluminación de los pisos 3, 4, 5 y 6 del DFB, se desarrolló utilizando el *software* TIA Portal V15 debido a que el controlador seleccionado con su respectivo módulo de expansión corresponde al PLC S7 1200 CPU 1214C.
- En cuanto a la cotización del cable únicamente se ha colocado un rollo de 100 (m), esto debido a que no se conoce con exactitud cuantos metros son necesarios para la implementación, de igual forma no se tiene conocimientos de los conductos eléctricos (ya que esto corresponde a la segunda etapa del proyecto).
- Una vez finalizado el diseño del sistema de control de iluminación de los pisos 3, 4, 5 y 6 del DFB se solicitó una cotización local de todos los componentes necesarios para la posible implementación del proyecto. El costo total corresponde a un valor de 11 639,53 dólares.

5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda cambiar el cableado, esto debido a que si se mantiene el calibre de los conductores se reduce el espacio libre en los ductos y mientras más se reduce provoca un sobrecalentamiento en los aislamientos de los conductores, llegando a producir un cortocircuito, sin mencionar que limita posibles repotenciaciones eléctricas.
- Se recomienda el cambio de protecciones eléctricas, ya que un sobredimensionamiento no protege la instalación en caso de cortocircuito, el interruptor termomagnético no se activará.
- El aula 501 y 502 deben tener su propio interruptor termomagnético para que en caso de falla ambas aulas no queden deshabilitadas.
- Es recomendable etiquetar cada circuito tanto de fuerza como de iluminación en los tableros de distribución, esto agiliza cualquier tipo de repotenciación, cambio de elementos, detección de fallas y tareas de mantenimiento.
- Debido a que ya se encuentran instalados paneles Led en los pasillos y descansos de los graderíos, se recomienda instalar luminarias a lo largo de las gradas esto permitirá balancear los niveles de iluminación entre pasillos y gradas.
- Si los interruptores que controlan dos luminarias en las aulas de clases son utilizados como selectores de modo, será necesario un cambio de color y una etiquetación para los mismos, para que de esta manera no sean confundidos por las personas al momento de maniobrarlos.
- Tomando en cuenta el presente estudio realizado, se sugiere cumplir con cada uno de los aspectos de diseño propuestos, si bien es cierto que dicho diseño se puede mejorar, a través de este estudio se establece la base para la automatización del sistema de control de iluminación del DFB
- Para ampliar la gama de opciones del PLC S7 1200 se recomienda utilizar versiones de TIA Portal superiores (V18), además se podría realizar un control remoto del sistema de iluminación a través de un servidor, con lo que es posible diseñar un interfaz humano máquina para comandar el sistema desde dispositivos móviles.

- Se recomienda digitalizar los planos arquitectónicos y eléctricos para de esta manera se determine con más exactitud el metraje de conductores necesarios para una repotenciación.
- Se recomienda solicitar cotizaciones por lo menos de dos proveedores adicionales con el fin de realizar una comparativa entre precios y escoger la más conveniente para la implementación del proyecto.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rocío Basa, «¿Que es la Domótica?: Domótica e Inmótica», 14-09-2007, 2007. <http://rociobasa7.blogspot.com/2007/09/domotica-e-inmotica.html> (accedido 11 de febrero de 2017).
- [2] M. A. Mendoza-Sánchez y J. Aguilón-Robles, «Influencia del color en la percepción térmica del diseño arquitectónico», *Legado de Arquitectura y Diseño*, vol. 16, n.º 29, 2021, doi: 10.36677/legado. v16i29.13934.
- [3] Decreto Ejecutivo 2393, «REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES», 2003. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec
- [4] Ricardo Carballo, «Domótica e Inmótica, conceptos generales», 2022. <https://eiposgrados.com/blog-energias/domotica-e-inmotica-conceptos-generales/> (accedido 5 de junio de 2023).
- [5] Héctor F. Chinchero, J. Marcos Alonso, y Hugo Ortiz T, «Revisión de sistemas de iluminación LED para edificios inteligentes • CONSTRUIBLE», 2021. <https://www.construible.es/comunicaciones/comunicacion-revision-sistemas-iluminacion-led-edificios-inteligentes> (accedido 5 de junio de 2023).
- [6] «ILUMINACIÓN INTELIGENTE PARA CASAS Y OFICINAS | El Oficial». <https://www.eloficial.ec/iluminacion-inteligente-para-casas-y-oficinas/> (accedido 17 de agosto de 2023).
- [7] NEC, «Instalaciones Eléctricas», 2018.
- [8] Aenor, «UNE-EN 12464-1:2003», 2003.
- [9] Fabricio Collaguazo y Ana Buitrón Ayala, «MEMORIA TÉCNICA DE ESTADO ACTUAL DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJO VOLTAJE», 2019. [En línea]. Disponible en: www.epn.edu.ec
- [10] Nacho Martínez, «Características de los tubos LED: ¿cuáles son las ventajas y las diferencias?», 2022. <https://atrapatuled.es/blog/caracteristicas-de-los-tubos-led-cuales-son-las-ventajas-y-las-diferencias> (accedido 6 de junio de 2023).
- [11] «WATERPROOF LED – Sylvania Ecuador». <https://sylvania.com.ec/product/waterproof-led/> (accedido 17 de agosto de 2023).
- [12] ELECTROCABLES C.A., «Catálogo de productos», 2018.

- [13] «Factor de potencia en iluminación - IMLUX». <https://imlux.mx/general/factor-de-potencia/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [14] «A9R14480 - Interruptor diferencial; Acti9 iID; 4P; 80A; 300mA AC | Schneider Electric España». <https://www.se.com/es/es/product/A9R14480/interruptor-diferencial-acti9-iid-4p-80a-300ma-ac/> (accedido 17 de agosto de 2023).
- [15] «Mini contactor CHINT 6 amperios 3NO + 1NC en 24 VAC , 110V o 220V – Importadora OTECE». <https://www.otece.com.ec/producto/mini-contactor-nc6-chint-3no-1nc/> (accedido 17 de agosto de 2023).
- [16] «6ES7214-1BG40-0XB0 CPU 1214C, AC/DC/Rel - Inasel Ecuador». <https://inaselecuarador.com/producto/6es7214-1bg40-0xb0-cpu-1214c-ac-dc-rel/> (accedido 17 de agosto de 2023).