

**Rediseño para la actualización tecnológica de la iluminación del edificio Federico Mamitza Bayer
de la Universidad Industrial De Santander**

Presentado por:

**Camilo Andrés Mojica Orozco
Deyby Nicolás Rojas Gutiérrez**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

Rolando Andrés Rincón Saravia
*Docente Universidad Industrial de Santander
Ingeniero Electricista
Especialista en Gerencia de Proyectos
Magister en Dirección de Empresas MBA*

Codirector:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga
*Docente Universidad Industrial de Santander
Magister en Ingeniería con énfasis en Automática
Doctorado en Ingeniería Eléctrica*

**Universidad Industrial De Santander
Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas
Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y De Telecomunicaciones Bucaramanga
2025**

Dedicatorias

Dedico este trabajo a mi madre, Esperanza Orozco Acevedo, quien con su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y su infinita paciencia me enseñó a no rendirme ante la dificultad y a confiar en que el esfuerzo siempre tiene recompensa. Eres mi mayor inspiración y la razón por la cual aprendí a valorar la disciplina y la constancia como pilares fundamentales en la vida. A mi hermano, Jhoan Sebastián Mojica, le agradezco profundamente por ser mi compañero de camino, por brindarme su apoyo sincero en cada momento y por demostrarme con su ejemplo que la fortaleza también se encuentra en la unión familiar. A mi pareja, Paula Juliana Ayala Montañez, gracias por estar a mi lado en los días más difíciles, por ser refugio en medio de la incertidumbre, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por convertir tu paciencia, tus palabras de aliento y tu amor en el impulso necesario para seguir adelante cuando las fuerzas parecían agotarse. A mis amigos, quienes compartieron conmigo desvelos, jornadas interminables de estudio, dudas y pequeñas victorias, gracias por recordarme que la amistad sincera transforma los obstáculos en aprendizajes y los sacrificios en recuerdos valiosos. Este logro es también de ustedes, pues cada gesto, cada palabra de ánimo y cada instante compartido dejaron huellas imborrables en este proceso. A todos ustedes les entrego con gratitud este resultado, convencido de que más allá de un título, este trabajo representa el fruto de un camino recorrido en compañía, de un esfuerzo compartido y de la certeza de que ningún sueño es inalcanzable cuando se tiene el apoyo, la confianza y el amor de quienes caminan a nuestro lado

~Camilo

Quiero rendirle un homenaje especial a mi madre, Luz Dary Gutiérrez, por estar siempre, incluso cuando ni yo mismo sabía cómo seguir; tu fuerza, tu entrega y ese amor que no conoce límites fueron mi refugio y mi impulso. Fuiste mi voz cuando me faltaban palabras, mi calma en medio del caos, y la razón por la que nunca me rendí. A mi hermano, Jeysson Rojas, quien sin decir una palabra me enseñó a perseverar, por ser mi compañero de estudio más importante, por caminar a mi lado en esta misma universidad, por compartir largas noches de trabajo, desvelos, dudas y pequeñas victorias. Tu presencia fue un alivio en medio del esfuerzo, una motivación constante. Aprendimos juntos, caímos juntos y crecimos juntos. A mi padre, Santiago Rojas, gracias por estar siempre, con tu apoyo sereno, con ese consejo oportuno y la tranquilidad de saber que podía contar contigo sin importar las circunstancias. Nunca dudaste de mis decisiones, y tu respaldo me dio la seguridad que tantas veces necesité para avanzar. No es el camino más sencillo, pero por cada caída aprendí el valor del compromiso en mi vida, lo que me permitió crecer y evolucionar a un adulto que puede realizarse desde su infancia y aspiraciones a convertirse en lo que alguna vez soñó.

~Nicolás

Agradecimientos

Agradecer en primera instancia a la vida por brindarnos la fortaleza necesaria para seguir adelante, incluso en los momentos más inciertos. Cada vez que se superó un obstáculo, se logró encadenar conceptos nuevos que aportaron profundamente a nuestro carácter.

Agradecemos a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander por brindarnos los espacios adecuados, los recursos técnicos y, sobre todo, por contar con un equipo docente altamente calificado que contribuyó de manera fundamental a nuestro crecimiento académico y profesional. Durante nuestra formación como ingenieros electricistas, encontramos en esta institución no solo conocimientos, sino también valores, desafíos y oportunidades que nos permitieron desarrollarnos con responsabilidad y compromiso frente a los retos de la ingeniería moderna.

Asimismo, extendemos un agradecimiento especial a nuestro director de proyecto, el Ing. Rolando Rincón, por su valiosa orientación, dedicación y disposición constante para acompañarnos en cada etapa del desarrollo de esta tesis. Su experiencia, claridad y exigencia académica nos motivaron a alcanzar un alto nivel de rigurosidad y profundidad técnica en nuestro trabajo. Gracias a su guía, logramos superar dificultades, afinar nuestros criterios y avanzar con seguridad hacia los objetivos propuestos. Su acompañamiento fue, sin duda, un pilar esencial en la culminación de este proceso investigativo.

Tabla de Contenido

Introducción	8
1. Planteamiento y justificación del problema.....	9
2. Objetivos.....	10
2.1. Objetivo general.....	10
2.2. Objetivos específicos	10
3. Marco normativo.....	11
4. Montaje y simulación en el programa DIALux EVO.....	24
4.1. Apéndice A. Guía del modelo estructural en el programa DIALux evo.....	25
5. Diseño del sistema de control de iluminación	26
5.1. Importancia y objetivo del sistema de control	26
5.2. Fundamentos técnicos del protocolo DALI-2.....	26
5.3. Normativas aplicadas al sistema de control	27
5.4. Selección tecnológica y justificación del sistema Crestron	27
5.5. Zonificación y agrupación funcional de luminarias.....	28
5.6. Distribución de sensores, teclados y buses DALI-2	29
5.7. Diagrama general del sistema de control	33
6. Conclusiones	35
7. Recomendaciones	36
8. Referencias.....	37

Lista de Tablas

Tabla 1. Parámetros fotométricos RETILAP.	12
Tabla 2. Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades.....	16

Lista de Figuras

Figura 1. Distancias y cavidades para aplicación del método del Coeficiente de local.....	20
Figura 2. Plano de distribución DALI-2 (Piso 1).....	30
Figura 3. Plano de distribución DALI-2 (Piso 2).....	30
Figura 4. Plano de distribución DALI-2 (Piso 3).....	31
Figura 5. Agrupación de luminarias para salones Tipo 1.....	31
Figura 6. Agrupación de luminarias para salones Tipo 2.....	32
Figura 7. Agrupación de luminarias para salones Tipo 3.....	32
Figura 8. Agrupación de luminarias para baños.....	33
Figura 9. Agrupación de luminarias para baños.....	34

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

APÉNDICE A. GUÍA DEL MODELO ESTRUCTURAL EN EL PROGRAMA DIALUX EVO

APÉNDICE B. LUMINARIAS SELECCIONADAS EN EL DISEÑO Y LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN EL PROGRAMA DIALUX EVO

APÉNDICE C. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LA ILUMINACIÓN

APÉNDICE D. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN

APÉNDICE E. SIMULACION DIALUX FMB

APÉNDICE F. RESULTADO SIMULACION DIALUX FMB

APÉNDICE G. PLANOS

APÉNDICE H. LUMINARIAS_DATASHEET

Resumen

Título: Rediseño para la actualización tecnológica de la iluminación del edificio Federico Mamitza Bayer de la Universidad Industrial de Santander. *

Autor: Camilo Andrés Mojica Orozco y Deyby Nicolás Rojas Gutiérrez. **

Palabras clave: Actualización de iluminación, Tecnología LED, Eficiencia energética, Sostenibilidad, Normativa NTC 4595, RETILAP.

Descripción: En este trabajo de grado se plantea una propuesta que conlleva la necesidad de modernizar el sistema de iluminación del edificio Federico Mamitza Bayer de la Universidad Industrial de Santander el cual en estos momentos aún opera con tecnología fluorescente, dicha tecnología ha quedado rezagada frente a las exigencias actuales de eficiencia y sostenibilidad. Durante el presente trabajo de grado, se ha abordado la necesidad de actualizar la iluminación del edificio Federico Mamitza Bayer para que sea funcional y eficiente, no solo energéticamente hablando, sino de forma funcional para cada uno de los espacios. En este sentido la instalación de tecnología LED es la mejor opción, ya que tiene como factor importante ser más duradero y su calidad óptima de luz. Como parte importante se realizaron simulaciones detalladas utilizando el programa DIALux evo, que permitió visualizar con claridad cómo se distribuiría la luz en cada espacio. También se incluyó un sistema de control automatizado que regula la intensidad de la iluminación dependiendo de cómo se usa cada área, lo que representa un avance clave en la forma en que se gestiona el consumo eléctrico en espacios institucionales. Ahora bien, más allá del beneficio práctico, este rediseño se pensó cuidadosamente para que cumpliera con lo establecido por normas como el RETILAP y la NTC 4595, ya que son esenciales en este tipo de intervenciones.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Rolando Andrés Rincón Saravia. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

Abstract

Title: Redesign for the Technological Upgrade of the Lighting System of the Federico Mamitza Bayer Building at the Industrial University of Santander. *

Author(s): Deyby Nicolás Rojas Gutiérrez y Camilo Andrés Mojica Orozco. **

Key Words: Lighting upgrade, LED technology, Energy efficiency, Sustainability, NTC 4595 standard, RETILAP.

Description: This undergraduate thesis presents a proposal aimed at modernizing the lighting system of the Federico Mamitza Bayer building at the Industrial University of Santander, which currently still operates with fluorescent technology. Such technology has fallen behind in meeting today's demands for energy efficiency and sustainability. Throughout this project, the need to update the building's lighting system has been addressed to make it not only more energy-efficient but also functionally appropriate for the different types of spaces within the facility. In this context, the installation of LED technology stands out as the best option, primarily due to its durability and high-quality light output. As a key part of the process, detailed simulations were carried out using the DIALux evo software, which allowed for a clear visualization of how light would be distributed in each area. Additionally, an automated control system was incorporated to adjust lighting intensity based on the usage of each space—representing a significant improvement in how electrical consumption is managed in institutional environments. Beyond the practical benefits, this redesign was carefully developed to comply with regulatory standards such as RETILAP and NTC 4595, which are essential for this type of implementation.

* Degree Work.

** Faculty of Physical-Mechanic Engineering. School of Electrical, Electronical and Telecommunications Engineering. Advisor: Rolando Andrés Rincón Saravia. Co-Advisor: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

Introducción

En los últimos años, hablar de eficiencia energética va más allá de una simple tendencia y se ha convertido en una necesidad, en especial en aquellos espacios institucionales donde el consumo eléctrico se puede catalogar como una constante. El edificio Federico Mamitza Bayer, parte fundamental del campus de la Universidad Industrial de Santander, aún utiliza un sistema de iluminación fluorescente que, aunque es funcional, ya no responde a las exigencias actuales en cuanto a sostenibilidad ni eficiencia energética. Esta situación plantea una inquietud que no puede pasarse por alto; ¿es posible modernizar sin perder funcionalidad, y al mismo tiempo, contribuir al ahorro energético?

A partir de esta pregunta surge este trabajo de grado con el propósito de replantear el sistema de iluminación del edificio considerando tanto las necesidades reales del espacio como las normas técnicas que regulan este tipo de instalaciones en Colombia; como la NTC 4595 y el RETILAP. A parte del cumplimiento normativo se busca ofrecer una solución concreta y precisa que optimice el uso de la luminosidad que ofrece la tecnología LED para así mejorar la experiencia de quienes usan el edificio y reducir el gasto energético.

La propuesta se apoya en el uso de tecnología LED y herramientas de simulación como DIALux evo, que permiten visualizar y ajustar el diseño antes de su implementación. El objetivo final no es solo mejorar una infraestructura, sino dar un paso hacia un modelo más consciente y sostenible en la gestión de espacios universitarios. En este trabajo de grado se presenta como apéndice una guía del paso a paso que se realizó para hacer la respectiva simulación en la aplicación DIALux evo; en donde se explicó a profundidad el uso de cada herramienta usada para la implementación del edificio en el programa.

Además del rediseño lumínico, este trabajo también incorpora la propuesta de un sistema de control de iluminación que responda a los principios de eficiencia energética, automatización y confort visual. A través de la implementación de la tecnología DALI-2, en conjunto con dispositivos de automatización Crestron, se estructuró una solución que permite gestionar el encendido, agrupación y regulación de luminarias de manera inteligente, sin necesidad de programación avanzada. Este componente del proyecto busca garantizar no solo el cumplimiento normativo, sino también la adaptabilidad del sistema a futuras expansiones e integraciones tecnológicas dentro del edificio.

1. Planteamiento y justificación del problema

La actualización de los sistemas de iluminación hacia tecnología LED es una necesidad imperante en la búsqueda de eficiencia energética y sostenibilidad en las edificaciones modernas. A nivel global, la iluminación representa una parte considerable del consumo total de energía eléctrica, y las tecnologías más antiguas, como la fluorescente, se quedan atrás en términos de eficiencia y normativas actuales. La tecnología LED ofrece ventajas significativas, incluyendo una mayor eficiencia lumínica, menor consumo de energía, y una vida útil más prolongada, lo que se traduce en un impacto ambiental reducido y menores costos operativos (Chandrakant, 2023).

El edificio Federico Mamitza Bayer de la Universidad Industrial de Santander, actualmente equipado con un sistema de iluminación basado en tecnología fluorescente, enfrenta el desafío de cumplir con las exigencias de la Norma Técnica Colombiana (NTC 4595) y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). Estos reglamentos requieren que los sistemas de iluminación no solo sean energéticamente eficientes, sino que también ofrezcan niveles de iluminación adecuados, garantizando un entorno seguro y confortable. Sin embargo, el sistema

actual del edificio no cumple con estos estándares, lo que genera un consumo energético elevado y una calidad de iluminación que podría mejorarse significativamente.

Para resolver esta problemática, se propone el diseño de un nuevo sistema de iluminación para el edificio, utilizando tecnología LED. Este diseño se desarrollará empleando el software DIALux evo, con el objetivo de no solo cumplir con los requerimientos normativos, sino también optimizar la distribución de la luz para asegurar un entorno laboral eficiente y confortable.

La implementación de esta solución permitirá una reducción sustancial en el consumo energético del edificio, alineando su infraestructura con los estándares modernos de sostenibilidad y eficiencia energética (Gómez, 2022).

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Actualizar el diseño de iluminación del edificio Federico Mamitza Bayer de la Universidad Industrial de Santander, asegurando su conformidad con las normativas NTC 4595 y RETILAP.

2.2. Objetivos específicos

- Revisar la norma NTC 4595 y el reglamento RETILAP para identificar los artículos relacionados con los ambientes educativos, con el propósito de actualizar el diseño de iluminación del edificio Federico Mamitza Bayer en la Universidad Industrial de Santander.

- Crear un modelo 3D que incluya las características constructivas, el espacio y el mobiliario, donde se apliquen los artículos pertinentes de las normas para los ambientes específicos del edificio.
- Seleccionar luminarias LED que aseguren una distribución adecuada y cumplan con los niveles de iluminación requeridos por la NTC 4595 y el RETILAP.
- Elaborar una guía detallada sobre la implementación del software DIALux Evo para el diseño de la iluminación interna del edificio Federico Mamitza Bayer en la Universidad Industrial de Santander, de acuerdo con la NTC 4595 y el RETILAP.
- Diseñar los grupos de control de los equipos de iluminación y el sistema de control de iluminación, asegurando un uso racional y eficiente de la energía.

3. Marco normativo

El presente proyecto se desarrolla teniendo como base fundamental dos normativas clave; en primer lugar tenemos la Norma Técnica Colombiana NTC 4595 y en segundo lugar tenemos el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). Debido a la relevancia de estos documentos en la planificación y diseño de ambientes educativos, esta sección se dedica a su revisión, análisis e interpretación, enfocándose exclusivamente en los apartados que resultan esenciales para el adecuado desarrollo del rediseño propuesto.

En lo que respecta a la norma NTC 4595, la cuál se titula "Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares", específicamente el numeral 2 correspondiente a las referencias normativas, establece que el RETILAP es una de las reglamentaciones complementarias indispensables para una correcta aplicación. Esto significa que, al implementar

los lineamientos del RETILAP en este proyecto, se asegura simultáneamente el cumplimiento de los criterios exigidos por la NTC 4595.

Adicionalmente, el numeral 7 de dicha norma, referente a instalaciones técnicas, incluye en su sección 7.2 lo concerniente a instalaciones eléctricas, y en particular, el subnumeral 7.2.2 se enfoca en la iluminación artificial. En este se establece de manera explícita que las soluciones de iluminación deben regirse por lo dispuesto en el RETILAP, además de proporcionar una serie de parámetros fotométricos de referencia. Dichos valores se explican con mayor profundidad en el mismo reglamento técnico, y serán retomados y representados en la Tabla 1 que se incluye a continuación:

Tabla 1.
Parámetros fotométricos RETILAP.

Área	$E_m(I_x)$	$U_o(\%)$	UGR	VEEI**	$E_v(I_x)$	$U_{ov}(\%)$
Aula tipo	500	50	19	4		
Tablero aula y/o laboratorio					500	50
Laboratorio	500	50	19	4		
Baños	150	50	25	4.5		
Circulaciones	100	50	28	4.5		
Oficinas	500	50	19	3.5		
Talleres*	500	50	22	4.5		
Biblioteca	500	50	19	6		
Cocina	300	50	25	5		
Aula múltiple	500	50	19	4		

* Talleres de ensamble, trabajo intermedio.

** $W/m^2/100 I_x$

Nota. En la tabla se presenta un resumen de los requisitos que deben cumplirse según el tipo de área dentro de los establecimientos educativos, esto de acuerdo con lo establecido en la NTC 4595.

En ella se destacan los principales parámetros a considerar en el diseño de sistemas de iluminación artificial; el deslumbramiento máximo (UGR), la eficiencia energética (VEEI), el nivel mínimo de iluminancia mantenida (E_m), la iluminancia vertical de entrada en imagen (E_v), la uniformidad general (U_o) y la uniformidad vertical en imagen (U_{ov}). Estos valores permiten garantizar condiciones óptimas de visibilidad, confort visual y eficiencia en los distintos espacios educativos. La información presentada ha sido tomada de la Tabla 12 de la NTC 4595 (p. 28), edición 2020.

Como paso siguiente, se van a listar los incisos más importantes del RETILAP para el desarrollo de este trabajo de grado, por consiguiente tenemos el capítulo más importante en nuestro caso que es el capítulo 2 (Requisitos generales para un sistema de iluminación), en otras palabras, aquí se definen las reglas básicas que aplican sin importar el tipo de espacio o instalación.

A continuación, se explican las secciones más relevantes para el desarrollo del proyecto; en la sección 200.1(Reconocimiento del sitio y objetos a iluminar) se define el propósito del reglamento el cuál es asegurar que la iluminación sea segura, eficiente y cómoda para las personas identificando las condiciones físicas y arquitectónicas del sitio o espacio a iluminar.

La sección 200.2(Requerimientos de iluminación) aclara que se deben reconocer cada una de las fuentes de luz presentes en el espacio a iluminar para con ello tomar decisiones más afines a lo que plantea la normativa, teniendo en cuenta los niveles óptimos de iluminación requeridos, con ello se debe efectuar un plan de mantenimiento preventivo que garantice la funcionalidad de las luminarias de manera uniforme y continua.

La sección 200.3(Selección de luminarias y fuentes luminosas) reúne los requisitos técnicos esenciales como niveles adecuados de luz, uniformidad, control del deslumbramiento, reproducción del color y eficiencia energética. Estos lineamientos son la base del rediseño

propuesto en este proyecto. También se debe tener en cuenta que respecto a la marca utilizada de la luminaria, el fabricante o comercializador nos debe dar los datos necesarios en su ficha técnica tales como características lumínicas y geométricas para efectuar su comprobación y verificar el cumplimiento de la luminaria escogida, con ello nos apoyamos en la sección 210.2.4(Usos de software para diseños de sistemas de iluminación) el cual nos dice los requerimientos exigidos que debe cumplir el software que se va a utilizar para realizar las simulaciones respectivas, en nuestro caso, al usar el software DIALux evo, vemos que esta sección se cumple con certeza ya que el software cuenta con una amplia variedad de información y herramientas que lo convierten en una referencia importante y ampliamente valorada dentro del sector eléctrico del país.

En el capítulo 4 (Diseños y cálculos de iluminación interior) en su sección 410 (Requisitos generales del diseño de alumbrado interior) nos explica la importancia de considerar aspectos como el tamaño y la forma del lugar, los colores y la capacidad de reflejar la luz de las superficies, el tipo de actividades que se realizarán en el espacio, la cantidad de luz natural disponible y, por supuesto, los aspectos estéticos que el cliente espera. Todos estos elementos influyen directamente en cómo debe planearse la iluminación para que sea funcional y agradable. A continuación se presenta un listado tomado del RETILAP en este mismo capítulo y sección:

- a) Conocer con detalles las actividades asociadas con cada espacio.
- b) Las exigencias visuales de cada puesto de trabajo y su localización.
- c) Las condiciones de reflexión de las superficies.
- d) Los niveles de iluminancia y uniformidades requeridas.
- e) La disponibilidad de la iluminación natural.
- f) El Control del deslumbramiento.
- g) Los requerimientos especiales en las propiedades de las luminarias, por el tipo de aplicación.

h) Propiedades de las fuentes y luminarias, tales como:

- ⇒ El índice de reproducción del color, lo natural que aparecen los objetos bajo la luz.
- ⇒ La temperatura del color, la apariencia de calidez o frialdad de la luz.
- ⇒ El tamaño y forma de la fuente luminosa y de la luminaria. (“NTC 4595, p.98, edición 2010)

Para complementar la información, en el mismo capítulo sección 410.1(Niveles de iluminación o iluminancias y distribución de luminancias) la cuál trata aspectos clave como son los niveles de iluminación necesarios, la iluminancia recomendada y la distribución adecuada de luminancias en los espacios según su función; se establecen de igual forma los valores máximos permitidos para el deslumbramiento (que se mide a través del índice UGR) y los niveles mínimos de iluminancia requeridos según el tipo de área o actividad. Esta información se presenta en la Tabla 410.1, titulada como “Índice UGR máximo y niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades”. En nuestro caso, se extraerá la información correspondiente a las actividades que se realizarán dentro de nuestra edificación y se presentará a continuación:

Tabla 2.
Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR _L	NIVELES DE ILUMINANCIA I _x		
		Mínimo	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños	25	100	150	200
Almacenes, bodegas	25	100	150	200
Industria del cuero				
Áreas generales de trabajo	25	200	300	500
Prensado, corte, costura y producción de calzado	22	500	750	1000
Clasificación, adaptación y control de calidad	19	750	1000	1500
Oficinas				
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	19	300	500	750
Oficinas abiertas	19	500	750	1000
Oficinas de dibujo	16	500	750	1000
Salas de conferencia	19	300	500	750
Colegios y centros educativos				
Salones de clase				
Iluminación general	19	300	500	750
Tableros	19	300	500	750
Elaboración de planos	16	500	750	1000
Salas de conferencia				
Iluminación general	22	300	500	750
Tableros	19	500	750	1000
Bancos de demostración	19	500	750	1000
Laboratorios	19	300	500	750
Salas de arte	19	300	500	750
Talleres	19	300	500	750
Salas de asambleas	22	150	200	300

Nota: La tabla presenta los valores máximos permitidos de deslumbramiento (UGR), así como los rangos mínimos y máximos de iluminancia (I_x) que deben cumplirse según el tipo de área o actividad. Esta tabla fue tomada del RETILAP, Tabla 410.1, (págs. 98,99 y 100, edición 2010).

Para la sección 410.2 (Aprovechamiento de la luz natural), esta sección del RETILAP nos presenta la importancia de utilizar de forma eficiente la luz natural dentro de cada espacio; ya que no solo se trata de permitir la entrada de luz del sol, sino también de tratar de integrarla de manera inteligente en el diseño de iluminación para reducir el consumo eléctrico sin comprometer la calidad visual del ambiente.

El edificio Federico Mamitza Bayer, está diseñado de forma que aprovecha de una buena manera la luz solar, el edificio tiene una crujía en la parte superior que absorbe una gran cantidad solar que se aprovecha para iluminar tanto pasillos como escaleras, de igual forma los espacios para actividades ya sean salones de clase, oficinas, entre otras, contienen grandes ventanales que logran absorber gran cantidad de luz y esto hace que en los horarios con luz solar no sea necesario el uso de luminarias para el desarrollo de las actividades.

En secciones anteriores hemos hablado de un factor muy importante el cuál es el índice de deslumbramiento (UGR), para explicarlo mejor se hace uso de la sección 410.3 (Control de deslumbramiento) el cuál como su nombre lo indica nos habla de efectos producidos por áreas expuestas a demasiado brillo o luminancia que afectan el campo de visión, y también la sección 410.4 (Uniformidad), en esta sección nos dan aquellos parámetros de luminancia en aquellas áreas circundantes para evitar que estos cambien de una manera brusca ya que las emisiones de luz y cambios bruscos en estas pueden ocasionar fatigas visuales por una mala distribución, esto es lo que hace el índice de deslumbramiento ya que es la que me define la uniformidad de la iluminación de la zona en cuestión. Cabe resaltar que el software utilizado DIALux evo tiene la herramienta para hacer el respectivo cálculo de uniformidad para verificar la distribución de las luminarias para así cumplir con las secciones previamente mencionadas para realizar el estudio como lo establece la norma; de igual manera se presentará la fórmula de este índice a continuación:

$$UGR = 8 \text{Log}_{10} \left(\frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

En donde:

L_b : Es la iluminancia de fondo en cd/m^2 , calculada por $E_{\text{ind}} * \pi^{-1}$, en la que E_{ind} es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador.

L : Es la iluminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador en cd/m^2 .

ω : Es el ángulo sólido (estereorradianes) de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador.

p : Es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

Nota: Esta información es tomada del RETILAP, (pág 105, edición 2010).

En todo proyecto de iluminación el RETILAP exige que se tenga en cuenta un plan de mantenimiento. Así lo señala la sección 410.9, la cual recalca la importancia de calcular el factor de mantenimiento para garantizar que el sistema siga funcionando correctamente con el paso del tiempo. Por un lado asegura la eficiencia y cumple con la normatividad, y por otro ayuda a cuidar la salud visual de quienes están usando el espacio.

Por su parte, la sección 420, dedicada a los requisitos específicos para iluminación interior, incluye en el apartado 420.1 las condiciones que deben cumplirse en zonas de trabajo. Dentro de este, los subapartados 420.1.1 y 420.1.2 detallan lo que se espera específicamente para

oficinas, aulas, auditorios y salas de lectura. Como en estos lugares se realizan actividades como escribir, leer o usar pantallas, la disposición correcta de las luminarias y la calidad de la luz son esenciales para facilitar el buen desempeño de las personas y evitar la fatiga visual.

Otro aspecto importante que considerar es el relacionado a los cálculos de iluminación; estos cumplen un factor fundamental para poder asegurar que los espacios cuenten con los niveles de luz adecuados. En la sección 430 del RETILAP (Cálculo para iluminación interior) se presenta justamente este tema en el cual se establece que se debe realizar un cálculo del nivel promedio de iluminancia, es decir, cuánta luz llega de una manera uniforme a las superficies dentro de un espacio. Dicho cálculo es esencial para comprobar que el sistema de iluminación diseñado cumple con los valores requeridos según el uso del área, garantizando así un confort visual, seguridad y eficiencia energética. El nivel de luminancia promedio se puede calcular de la siguiente forma:

$$E_{prom} = \frac{\Phi_{tot} * CU * FM}{A} \quad (2)$$

En donde:

Φ_{tot} : Flujo luminoso total de las bombillas.

A: Área del plano de trabajo en m².

CU: Coeficiente o factor de utilización para el plano de trabajo.

FM: Factor de mantenimiento.

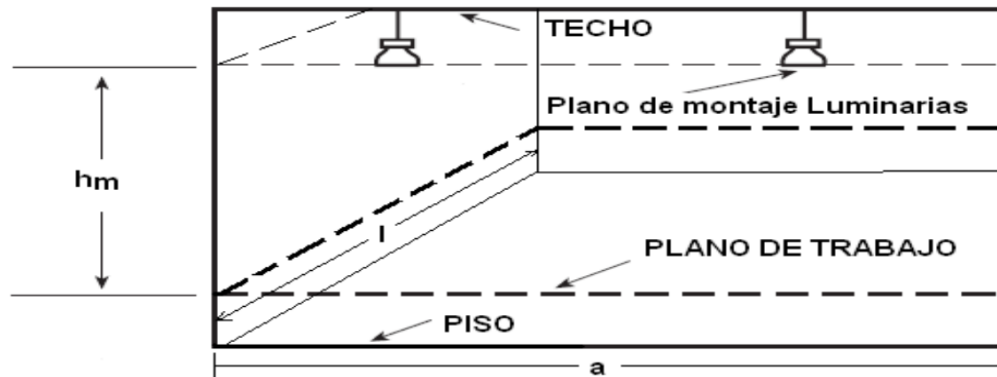
Nota: Esta información es tomada del RETILAP, (pág 112, edición 2010).

En el proceso de cálculo de la iluminación, el apartado 430.1 del RETILAP (Método del coeficiente de utilización de la instalación CU) que básicamente mide qué tanto del flujo luminoso que emite una luminaria realmente llega al plano de trabajo. Este coeficiente puede ser dado por el mismo fabricante o también se puede calcular multiplicando la eficiencia de la luminaria (η_L)

con la eficiencia del espacio(η_R), es decir: $CU = \eta_L \times \eta_R$. También, en el apartado 430.2.4 se menciona que dicho valor se puede obtener a través de ensayos de laboratorio utilizando herramientas como las curvas ISO K. Por otro lado, el apartado 430.2 explica el método de cavidades zonales, nos indica que para calcular correctamente la iluminancia promedio horizontal es necesario establecer dos planos imaginarios; uno al nivel de las luminarias y otro al nivel donde se realizan las actividades (como escritorios o mesas de trabajo). Este enfoque permite estimar de forma más precisa cómo se distribuirá la luz dentro del espacio asignado. Para la aplicación del método del coeficiente de local se presentan algunas distancias importantes a tener en cuenta en la siguiente ilustración:

Figura 1.

Distancias y cavidades para aplicación del método del Coeficiente de local.



Nota: Método del coeficiente del local. Esta ilustración fue tomada del RETILAP, Figura 430.2, (pág. 114, edición 2010).

Teniendo esta figura, es mucho más sencillo interpretar la ecuación que se presentará a continuación:

$$E_{prom} = \frac{N \times n \times \phi_L \times CU \times FM}{l \times a} \quad (3)$$

En donde:

N: Número de luminarias en el local.

n: Número de bombillas por luminaria.

ϕ_L : Flujo luminoso de una bombilla de la luminaria.

CU: Coeficiente o factor de utilización para el plano de trabajo.

FM: Factor de mantenimiento de la instalación.

l: Longitud del local en metros.

a: Ancho del local en metros.

Nota: Esta información es tomada del RETILAP, (pág 114, edición 2010).

Ahora, para explicar el coeficiente FM nos ayudamos en el apartado 430.5.1 del RETILAP (Factor de mantenimiento), que trata sobre el factor de mantenimiento en instalaciones de iluminación interior, complementa lo mencionado anteriormente en el apartado 410.9(Mantenimiento de las instalaciones de iluminación). Ambos destacan que, con el paso del tiempo, las luminarias tienden a perder parte de su capacidad de iluminación debido a factores como la acumulación de polvo, el envejecimiento de los materiales o la reducción en la eficiencia del sistema. Por eso, para garantizar que la iluminación siga cumpliendo con los niveles requeridos a lo largo del tiempo, es fundamental calcular el factor de mantenimiento. Este valor permite ajustar el diseño desde el inicio, teniendo en cuenta esa pérdida progresiva, y asegurando así que el espacio continúe siendo funcional y cómodo visualmente, se calcula según la siguiente fórmula:

$$FM = FE \times DBL \times F_b \quad (4)$$

En donde:

FM: Factor de mantenimiento de la instalación.

FE: Depreciación de la luminaria por ensuciamiento.

DLB: Depreciación por disminución del flujo luminoso de las bombillas.

F_b: Factor de balasto.

Nota: Esta información es tomada del RETILAP, (pág 119, edición 2010).

Una vez se han determinado el Coeficiente de Utilización (CU) y el Factor de Mantenimiento (FM), el siguiente paso es calcular la cantidad de luminarias necesarias para cubrir adecuadamente el área que se desea iluminar. Esto se basa en lo que indica el apartado 430.3 del RETILAP (Número de luminarias necesarias para producir una luminancia requerida) , que se enfoca en cómo determinar el número de luminarias necesarias para lograr el nivel de iluminancia requerido.

Para ello, se debe calcular el flujo luminoso total que necesita el espacio, teniendo en cuenta tanto las características del lugar como los valores previamente obtenidos (CU y FM). Con ese dato, se puede definir cuántas luminarias se deben instalar para asegurar una iluminación uniforme y eficiente en toda la zona, la fórmula se presenta a continuación:

$$\Phi_{tot} = \frac{E_{prom} \times A}{CU \times FM}$$

En donde:

Φ_{tot} : Flujo luminoso total.

E_{prom} : Iluminancia promedio requerida.

A: Área en m^2 .

CU: Coeficiente de utilización.

FM: Factor de mantenimiento.

Nota: Esta información es tomada del RETILAP, (pág 117, edición 2010).

Teniendo esto, es posible calcular el total de luminarias con la siguiente expresión dada por el

RETILAP:

$$N = \frac{\Phi_{tot}}{n \times \phi_L}$$

En donde:

Φ_{tot} : Flujo luminoso total.

n: Número de bombillas por luminaria.

ϕ_L : Flujo luminoso de una bombilla de la luminaria.

Nota: Esta información es tomada del RETILAP, (pág 118, edición 2010).

Para concluir con el marco normativo es fundamental resaltar la importancia del alumbrado de emergencia el cual está regulado por la sección 470 del RETILAP (Alumbrado de emergencia). Esta sección del reglamento establece que se deben garantizar niveles mínimos de luz en zonas clave ya sean como pasillos, escaleras y salidas de emergencia especialmente en caso de fallos eléctricos o situaciones de evacuación; esto con el fin de asegurar la integridad de cada persona presente en el edificio en el momento de la situación y mantener un orden específico para evitar más inconvenientes en la evacuación de la edificación ya que el objetivo principal es evitar de alguna forma el pánico y facilitar una salida segura.

Según el apartado 470.2 (Instalaciones que requieren de alumbrado de emergencia) este tipo de iluminación es obligatoria en edificios con más de cinco pisos o que en cualquier momento del día o la noche alberguen a más de 100 personas; como es el caso del edificio analizado en este proyecto, a pesar de no contar con más de cinco pisos, al ser un edificio que se usa de manera administrativa para su escuela con las oficinas de cada docente y también que cuenta con actividades académicas regulares, se puede dar el caso en el que el edificio albergue la cantidad de personas mencionadas anteriormente.

Además, el apartado 470.3 (Características de la instalación del alumbrado de emergencia) especifica las características técnicas que deben cumplir estas instalaciones; autonomía de al menos una hora, independencia de la red eléctrica del edificio, tiempo de operación y niveles mínimos de iluminancia. Por ejemplo, en el caso de falla de alimentación (se considera cuando se produzca una tensión por debajo del 70% de su tensión nominal) en rutas de evacuación de hasta 2 metros de ancho, se requiere al menos 1 lux sobre el eje central y 0.5 lux en la banda central del camino. Al tener rutas de evacuación de más de 2 metros de ancho, pueden ser tratadas como varias bandas de 2 metros de ancho como máximo; estas luminarias no pueden tardar más de 15 segundos en estar disponibles. La instalación debe contar con un medio de carga automática de las baterías; dichas baterías no pueden ser tipo automotriz.

4. Montaje y simulación en el programa DIALux EVO

Con el fin de brindar una comprensión más detallada sobre el desarrollo técnico de este trabajo de grado, se anexan dos documentos que complementan la información presentada en los capítulos anteriores. Estos apéndices contienen material fundamental que sustenta la metodología aplicada y los resultados obtenidos en el diseño del sistema de iluminación de emergencia mediante el uso del software DIALux evo.

4.1. Apéndice A. Guía del modelo estructural en el programa DIALux evo

En este apéndice se presenta una guía detallada del proceso de modelado estructural del edificio objeto de estudio dentro del entorno del programa DIALux evo. Se describe paso a paso el montaje del proyecto en el programa, incluyendo la introducción de los planos, la definición de las plantas, caracterización de zonas, así como la disposición de elementos arquitectónicos relevantes. Esta documentación permite comprender con claridad cómo se estructuró digitalmente el edificio para llevar a cabo el análisis lumínico correspondiente.

4.2. Apéndice B. Luminarias seleccionadas en el diseño y resultados de la simulación en el programa DIALux evo

Este apéndice incluye el registro de las luminarias seleccionadas para el diseño, especificando sus características técnicas, ubicación en el proyecto y el criterio seguido para su elección. También, se documentan los resultados obtenidos una vez ejecutada la simulación lumínica, tales como los niveles de iluminación alcanzados; iluminación primaria y distribución de la luz en las rutas de evacuación y cumplimiento de los parámetros normativos establecidos. La información contenida en este apéndice respalda directamente la validez técnica del diseño propuesto.

Ambos apéndices permiten consolidar la trazabilidad del proceso de diseño, así como verificar los procedimientos realizados dentro del software garantizando transparencia en el trabajo realizado.

5. Diseño del sistema de control de iluminación

5.1. Importancia y objetivo del sistema de control

El control de la iluminación es un componente clave en los sistemas eléctricos modernos, ya que permite optimizar el consumo energético, mejorar el confort visual y ampliar la funcionalidad de los espacios. En entornos como instituciones educativas, donde el uso de las aulas varía a lo largo del día, un sistema de control eficiente contribuye a la sostenibilidad operativa, la seguridad y la versatilidad de los ambientes.

Este capítulo tiene como objetivo describir detalladamente el sistema de control de iluminación diseñado para el edificio Federico Mamitza Bayer, destacando su estructura, zonificación, agrupación de luminarias, lógica de control y escalabilidad. El sistema implementado se fundamenta en la tecnología DALI-2 (Digital Addressable Lighting Interface) para la gestión de luminarias, complementado por una red de automatización Crestron conectada mediante cableado Cresnet. La solución propuesta responde a criterios de eficiencia energética, flexibilidad operativa y cumplimiento normativo, siendo diseñada sin programación avanzada, pero sí con una lógica cableada robusta basada en escenas simples de usuario.

5.2. Fundamentos técnicos del protocolo DALI-2

El protocolo DALI-2 es una evolución del estándar DALI (Digital Addressable Lighting Interface) y se caracteriza por permitir una comunicación digital bidireccional entre dispositivos de iluminación, tales como balastos electrónicos, drivers LED, sensores de ocupación e interfaces de usuario. DALI-2 proporciona ventajas como direccionamiento individual de luminarias, agrupación lógica sin modificar el cableado, capacidad de

diagnóstico y retroalimentación, así como interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes certificados. En este proyecto, el sistema DALI-2 se utilizó para la gestión directa de las luminarias, garantizando eficiencia operativa, facilidad de mantenimiento y potencial de integración futura con otros subsistemas.

5.3. Normativas aplicadas al sistema de control

El diseño del sistema de control de iluminación cumplió con el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) y la NTC 4595. El RETILAP establece requisitos sobre la eficiencia energética, uniformidad de la iluminación y mantenibilidad de los sistemas, aplicables en espacios educativos. Por su parte, la NTC 4595 recomienda condiciones ergonómicas y niveles adecuados de iluminancia en ambientes escolares, considerando también la posibilidad de adaptar la iluminación a distintos usos mediante controles. Estas normativas respaldan la integración de sistemas automatizados como parte esencial de una solución eficiente y normativamente conforme.

5.4. Selección tecnológica y justificación del sistema Crestron

Para garantizar la interoperabilidad con el protocolo DALI-2 y asegurar una plataforma robusta y escalable, se seleccionó la marca Crestron. Esta marca es ampliamente reconocida en sistemas de automatización y control para edificios inteligentes. La elección se fundamentó en la compatibilidad directa con DALI-2 mediante el módulo DIN-DLI, la conectividad por medio de la red Cresnet, la modularidad de sus componentes y la facilidad de expansión.

Entre los componentes seleccionados para este diseño se encuentran:

- Procesador central CP4
- Módulo de interfaz DALI DIN-DLI

- Fuente de alimentación DIN-PWS60
- Hub de distribución DIN-HUB
- Sensor de ocupación GLS-OIR-C-CN
- Teclado de control HZ2-KPCN
- Unidad de respaldo UPS PC-300

Estos dispositivos permiten desarrollar un sistema completamente funcional sin depender de programación personalizada, basándose en una lógica cableada fija.

5.5. Zonificación y agrupación funcional de luminarias

La definición de zonas de control se realizó a partir de los planos arquitectónicos del edificio y el resultado de las simulaciones luminotécnicas presentadas en el Apéndice B. Estas simulaciones permitieron establecer criterios para la agrupación funcional de luminarias según el uso del espacio. Por ejemplo, en salones tipo A se establecieron dos grupos de luminarias: zona frontal (próxima al tablero) y zona posterior. En salones tipo B, las luminarias fueron agrupadas como un solo circuito. En pasillos y zonas comunes, las luminarias fueron agrupadas por tramos.

La correcta agrupación permitió establecer la cantidad de buses DALI por planta, considerando el límite de 64 dispositivos por bus y la longitud máxima de 300 metros recomendada por la norma IEC 62386. Esta organización aseguró una distribución eficiente del cableado y una correcta respuesta del sistema.

5.6. Distribución de sensores, teclados y buses DALI-2

Los sensores de ocupación (GLS-OIR-C-CN) fueron ubicados en zonas estratégicas de los pasillos y salones, asegurando una cobertura completa del área. Los teclados (HZ2-KPCN) se instalaron junto a las entradas de los salones para facilitar su acceso. Estos dispositivos fueron conectados mediante la red Cresnet hacia los controladores principales.

Desde el plano arquitectónico, se definieron los recorridos del cableado DALI-2, conectando luminarias a módulos DIN-DLI en tableros distribuidos por planta. Las luminarias se conectaron en topología libre, siguiendo las recomendaciones de la norma DALI. Los teclados y sensores Cresnet fueron distribuidos por zonas, concentrando la red en hubs DIN-HUB y alimentados por DIN-PWS60.

A continuación, se presentan las figuras de planos por planta que ilustran la agrupación funcional, el cableado DALI y la ubicación de sensores y teclados (Esta información se encuentra en los apéndices también):

Figura 2.
Plano de distribución DALI-2 (Piso 1).

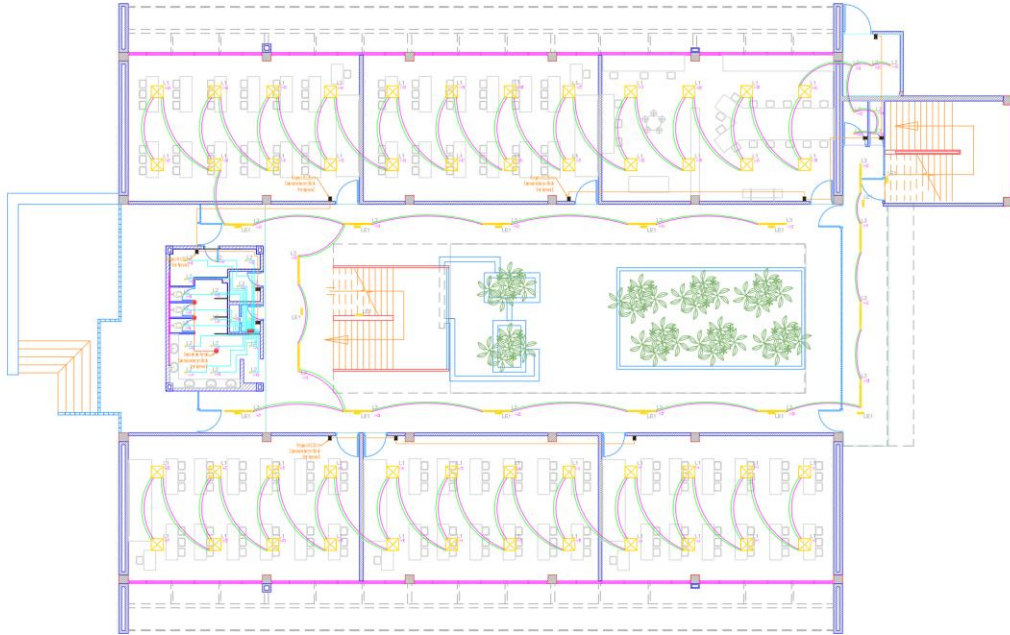


Figura 3.
Plano de distribución DALI-2 (Piso 2).

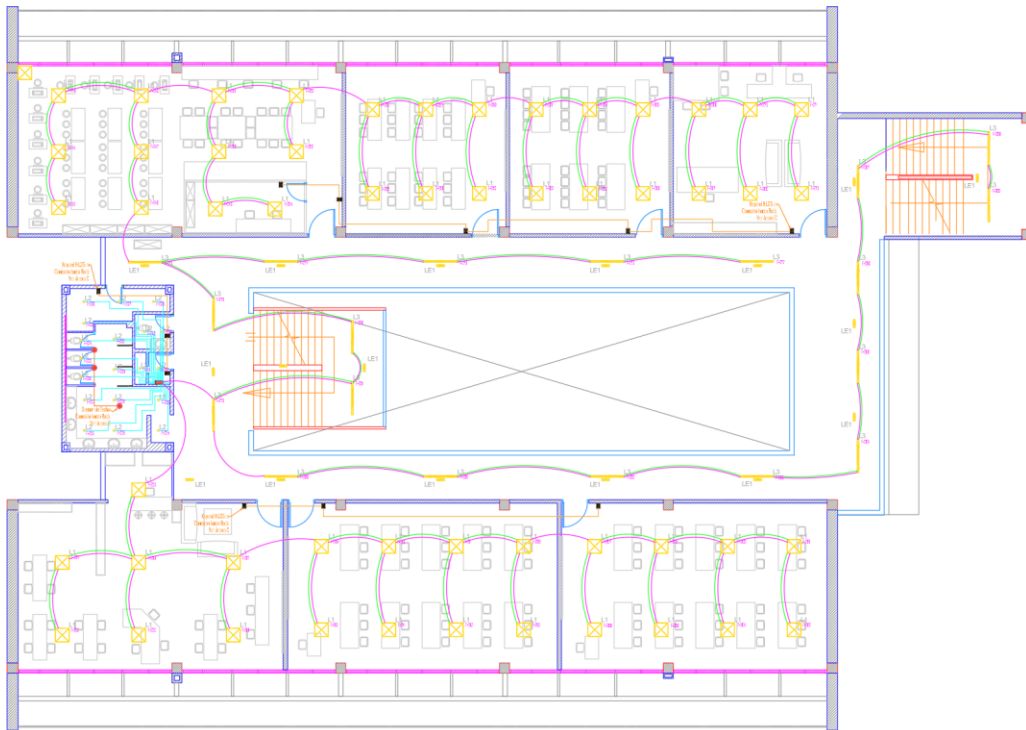


Figura 4.
Plano de distribución DALI-2 (Piso 3).

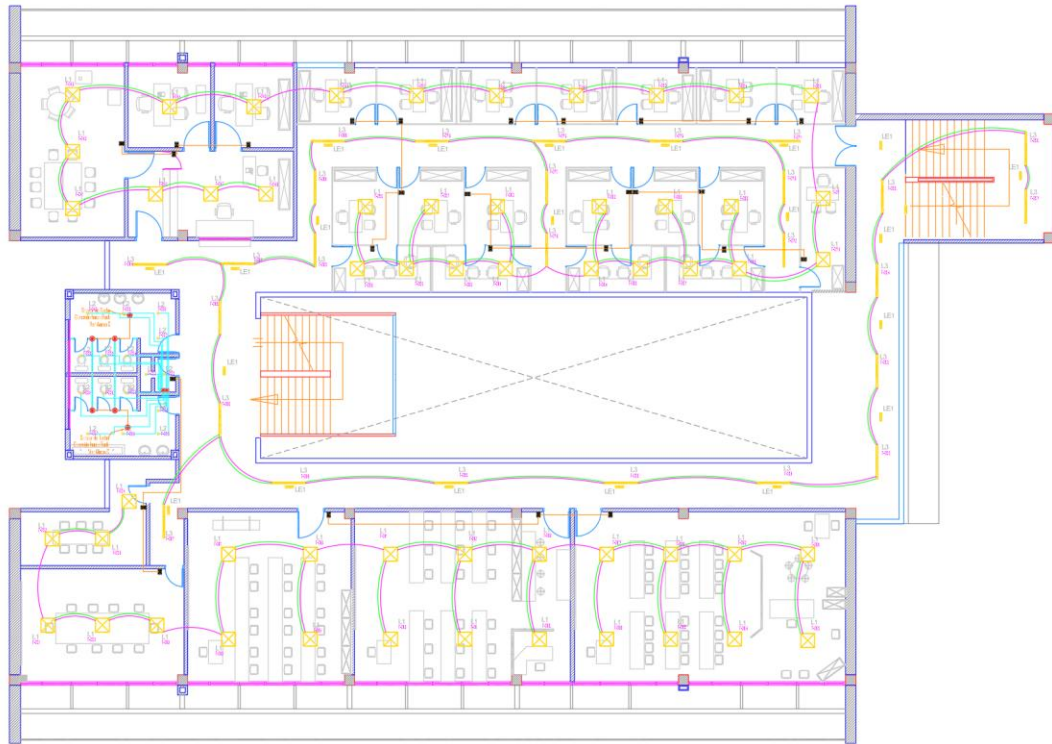


Figura 5.
Agrupación de luminarias para salones Tipo 1.

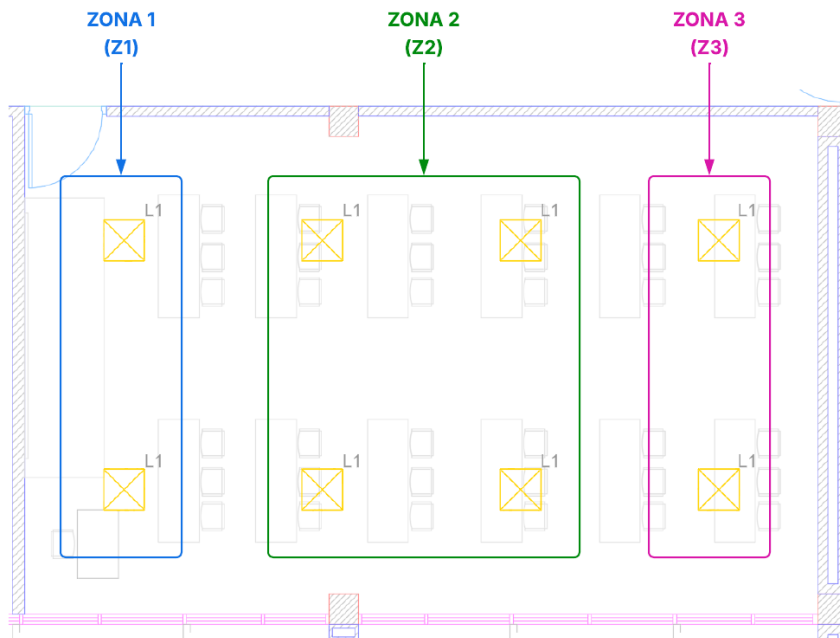


Figura 6.
Agrupación de luminarias para salones Tipo 2.

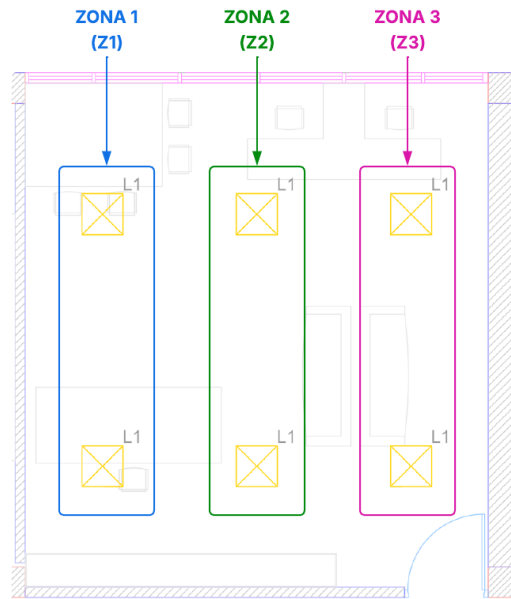


Figura 7.
Agrupación de luminarias para salones Tipo 3.

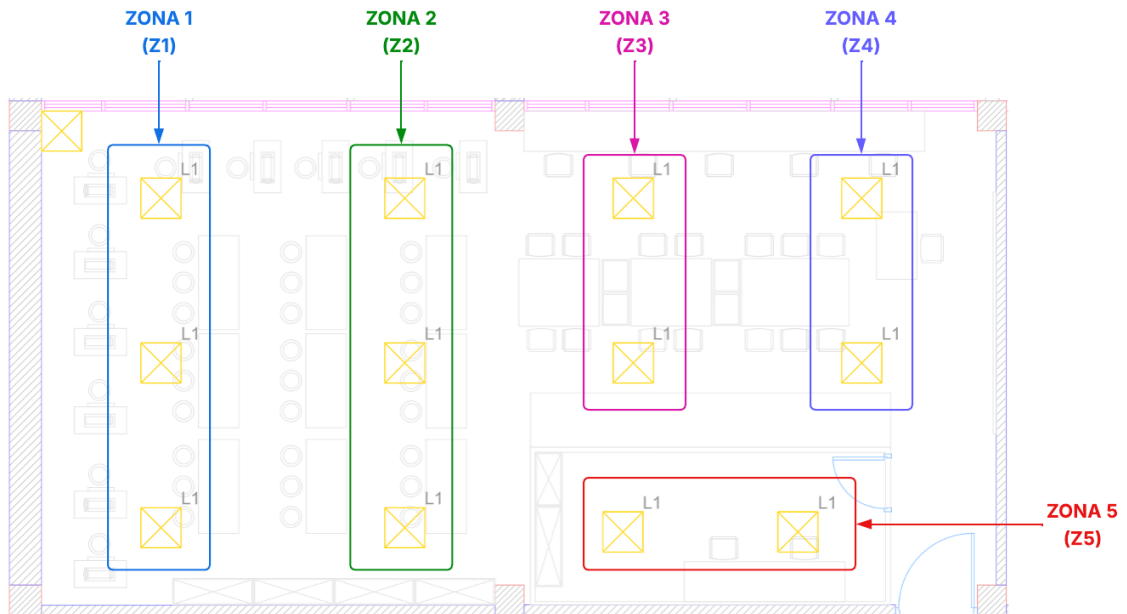
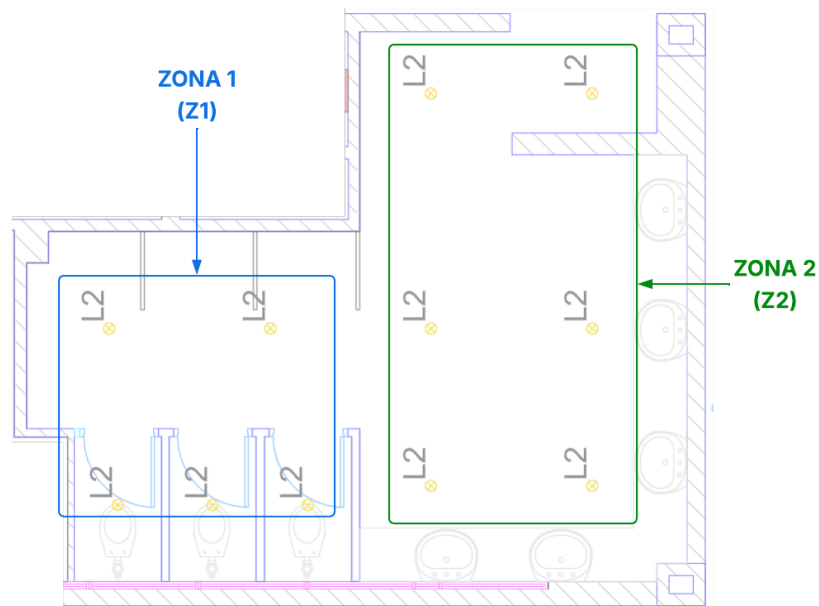


Figura 8.
Agrupación de luminarias para baños.



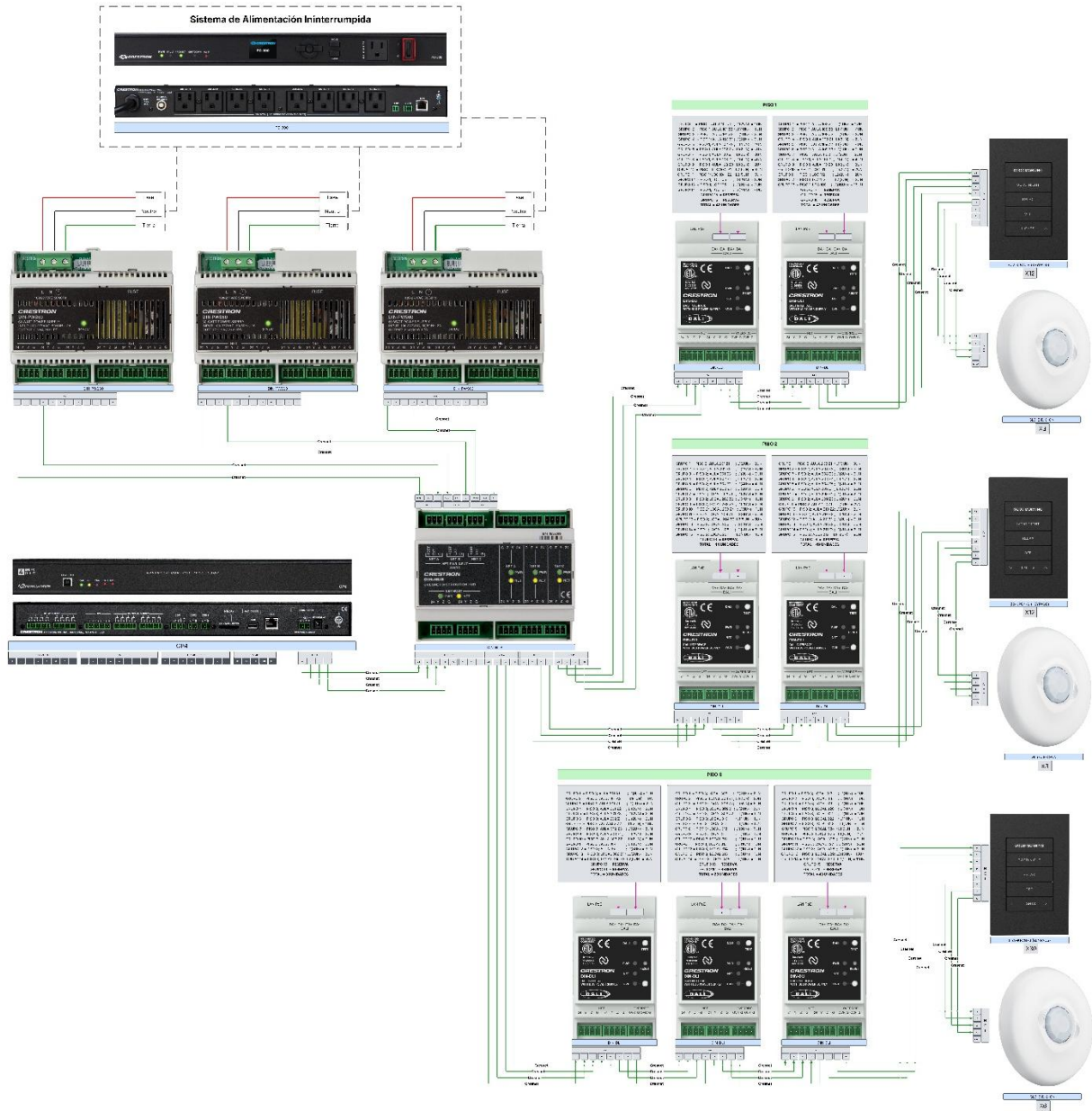
5.7. Diagrama general del sistema de control

Con el objetivo de representar de manera global la lógica cableada y la distribución de los dispositivos utilizados, se incorpora un diagrama general del sistema de control de iluminación del edificio Federico Mamitza Bayer. Este esquema resume la organización de luminarias, sensores, teclados, buses DALI-2 y módulos Crestron.

El diagrama facilita la comprensión de cómo se estructuró el sistema sin programación avanzada, visualizando las conexiones principales y las agrupaciones por zona. Para su revisión en mayor detalle, se sugiere consultar el documento técnico completo disponible en la carpeta de Apendices, bajo el nombre "Apendice C. Diagrama de Conexión de la Iluminación", donde se encuentra disponible en alta resolución. se recomienda al lector revisar el documento completo disponible en la carpeta de apendices, bajo el nombre " Apéndice C. Diagrama de Conexión de la Iluminación", donde se puede consultar en alta resolución y con mayor nivel de detalle técnico conforme a los planos desarrollados en AutoCAD.

Figura 9.
Agrupación de luminarias para baños.

DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LA ILUMINACIÓN DEL EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



6. Conclusiones

El desarrollo del sistema de iluminación propuesto para el edificio Federico Mamitza Bayer permitió evidenciar la viabilidad de modernizar instalaciones existentes mediante soluciones eficientes, normativamente compatibles y técnicamente escalables. Se cumplieron los objetivos planteados inicialmente, como la transición hacia tecnología LED, el cumplimiento del RETILAP y la NTC 4595, y la integración de un sistema de control basado en el protocolo DALI-2.

Se identificaron patrones importantes a lo largo del diseño, como la eficiencia energética derivada de una correcta agrupación de luminarias y la posibilidad de adaptar el sistema a múltiples escenarios de uso mediante una lógica cableada funcional. Asimismo, la combinación del sistema DALI-2 con la plataforma Crestron demostró ser una solución sólida, compatible y capaz de crecer en futuras fases del edificio.

Una lección relevante fue la importancia del análisis espacial detallado mediante herramientas como DIALux Evo, que permitió ajustar las propuestas técnicas a las condiciones reales del edificio. También se reconoció que la planificación inicial de las zonas y buses DALI fue determinante para evitar sobrecargas, caídas de tensión y fallos funcionales. Aunque no se abordó una programación personalizada, el enfoque cableado logró cubrir las necesidades funcionales con claridad y eficiencia.

En resumen, el proyecto no solo cumple con los lineamientos técnicos y normativos exigidos, sino que establece una base estructural para futuras automatizaciones del edificio, alineándose con las tendencias actuales de sostenibilidad y digitalización en entornos educativos.

7. Recomendaciones

Para futuras implementaciones o mejoras del sistema diseñado, se recomiendan las siguientes acciones:

- Integración con sistemas superiores, se sugiere vincular el sistema de iluminación con otros subsistemas del edificio, como climatización, seguridad o monitoreo energético, a través de protocolos abiertos o plataformas de gestión centralizada.
- Ampliación del control funcional, incluir en futuras etapas la programación de escenas avanzadas, ajustes de intensidad automática y monitoreo remoto mediante software Crestron Toolbox.
- Mejoras en mantenimiento preventivo, se podrían implementar sensores adicionales que informen sobre fallos o necesidades de reposición, aprovechando la retroalimentación del sistema DALI-2.
- Investigación sobre sensores de luz natural, incorporar fotocélulas para regulación automática de iluminación diurna contribuiría aún más a la eficiencia energética.
- Documentación técnica avanzada, fortalecer el archivo técnico del edificio mediante planos as-built en AutoCAD y manuales de mantenimiento integrados.

Referencias

Crestron Electronics. (2023). *Crestron technical specifications and manuals*.

<https://www.crestron.com>

DIAL GmbH. (2022). *Manual de usuario DIALux evo*. <https://www.dial.de>

Digital Illumination Interface Alliance (DiiA). (2021). *DALI-2 overview*. <https://www.dali-alliance.org/dali2>

ICONTEC. (2007). *NTC 4595: Iluminación en interiores. Niveles de iluminación*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Ministerio de Minas y Energía. (2011). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP*. <https://www.minenergia.gov.co>