UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Eléctrico

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:

"IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE ENERGÍA EN LA BIBLIOTECA DE LA UPS - SEDE CUENCA"

AUTORES:

EDGAR OSWALDO ORDOÑEZ PARAPI

ADRIANA ESTEFANIA ZAPATA CRUZ

TUTOR:

ING. JOHNNY XAVIER SERRANO GUERRERO, Ph.D

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Edgar Oswaldo Ordoñez Parapi con documento de identificación N° 0104280276 y Adriana Estefania Zapata Cruz con documento de identificación N° 0706281474, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del trabajo de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE ENERGÍA EN LA BIBLIOTECA DE LA UPS - SEDE CUENCA"**, mismo que ha sido para optar por título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital en la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2021.

Edgar Oswaldo Ordoñez Parapi

C.I. 0104280276

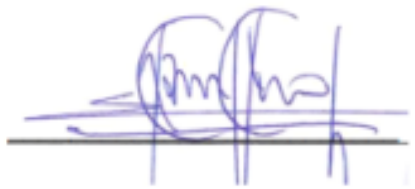
Adriana Estefania Zapata Cruz

C.I. 0706281474

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE ENERGÍA EN LA BIBLIOTECA DE LA UPS - SEDE CUENCA"** realizado por Edgar Oswaldo Ordoñez Parapi y Adriana Estefania Zapata Cruz, obteniendo *el Proyecto Técnico con enfoque investigativo,* que cumple con todos los requerimientos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2021.



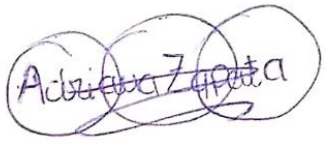
Ing. Johnny Xavier Serrano Guerrero, Ph.D.

C.I. 0104983382

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Edgar Oswaldo Ordoñez Parapi con documento de identificación N° 0104280276 y Adriana Estefania Zapata Cruz con documento de identificación N° 0706281474, autores del trabajo de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE ENERGÍA EN LA BIBLIOTECA DE LA UPS - SEDE CUENCA"**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque investigativo,* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, mayo del 2021.



Edgar Oswaldo Ordoñez Parapi

C.I. 0104280276

Adriana Estefania Zapata Cruz

C.I. 0706281474

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia por su apoyo incondicional y a mi enamorada Selena por ser la persona en unirse a este proyecto de vida.

Oswaldo Ordoñez Parapi

A Dios, a mis padres, hermanas y sobrinos, por sus palabras de aliento me acompañaron en todo este tiempo. A mi amigo de muchos años Rommel Vintimilla, por creer siempre en mí, por extenderme su mano en momentos difíciles, por el cariño brindado, por sus consejos y palabras de motivación. A mis padres espirituales Fermín y Yamile Orellana, por sus oraciones y su dirección espiritual para conocer el amor de Cristo que es la base fundamental que se sustenta todo en la vida.

Finalmente, a todos mis docentes, futuros colegas y amigos, dentro y fuera de la institución.

Adriana Zapata

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque es pilar fundamental de mi vida, a mis padres Luis y Rosa quienes incondicionalmente me han apoyado y a las innumerables personas que aportaron con ideas en la elaboración de este proyecto.

Oswaldo Ordoñez Parapi

A Dios, por la vida y porque de ÉL procede da sabiduría y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia. A mis padres Adrian Zapata y Elena Cruz por su amor, trabajo y sacrificio, por sus consejos y su apoyo incondicional al igual que mis hermanas Diana y Laura y sobrinos por su respaldo, por confiar y creer en mí. A mis abuelitas Mariana Lalangui y Rosario Torres por su amor y sus palabras de aliento.

Adriana Zapata

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL ..... **- 6 -**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **- 8 -**

INDICE DE TABLAS ..... **- 10 -**

RESUMEN ..... **- 12 -**

ABSTRACT ..... **- 13 -**

1. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE ..... **- 14 -**

1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA ..... - 14 -

1.1.1 Iluminación eficiente ..... *- 14 -*

1.2 MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ..... - 15 -

1.2.1 Mediciones de factores en tiempo real ..... *- 15 -*

1.2.2 Medidas de iluminación ..... *- 15 -*

1.3 SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO ..... - 17 -

1.3.1 Sistema de control ..... *- 17 -*

1.3.2 Sistemas de monitoreo ..... *- 18 -*

1.4 REGULACIÓN DE LA ILUMINACIÓN ..... - 18 -

1.4.1 La CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y el IEA (Agencia Internacional de la Energía) sobre iluminación recomiendan a los gobiernos: ..... *- 19 -*

1.4.2 Norma ISO 50001 ..... *- 19 -*

2. RECOPILACIÓN DE DATOS, ANÁLISIS DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS Y ANALISIS DE CURVA DE CARGA ..... **- 21 -**

2.1 LEVANTAMIENTO Y RECOPILACIÓN DE DATOS ..... - 21 -

2.1.1 Planta baja ..... *- 22 -*

2.1.2 Primera planta ..... *- 23 -*

2.1.3 Segunda planta ..... *- 24 -*

2.2 ANÁLISIS DE CURVA DE CARGA ..... - 26 -

2.2.1 Curva de Carga ..... *- 26 -*

2.2.2 Perfiles de consumo por días tipo ..... *- 26 -*

3. IDENTIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA Y DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO ..... **- 31 -**

3.1 IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA ..... - 31 -

3.1.1 Norma Instituto Ecuatoriano de seguridad social ..... *- 31 -*

3.1.2 Norma Ecuatoria de construcción (NEC) ..... *- 31 -*

3.1.3 Medidas de eficiencia energética aplicadas ..... *- 32 -*

3.1.4 Migración a tecnología LED ..... *- 40 -*

3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA Y EL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO. ..... - 41 -

3.2.1 Implementación de tableros ..... *- 41 -*

3.2.2 Implementación de nuevos circuitos ..... *- 42 -*

3.2.3 Cambio de luminarias ..... *- 43 -*

3.2.4 Adquisición de datos ..... *- 44 -*

3.2.5 Sistema de control y monitoreo ..... *- 46 -*

3.2.6 Capacitación al personal ..... *- 53 -*

4. EVALUAR LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA Y EL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO, ENERGÉTICO Y AMBIENTAL..... - 54 -

4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA ..... - 54 -

4.2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA ..... - 55 -

4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA ..... - 60 -

4.3.1 Facturación sin implementación ..... *- 61 -*

4.3.2 Facturación con implementación ..... *- 63 -*

4.3.3 Factibilidad económica del proyecto ..... *- 64 -*

4.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL ..... - 65 -

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... - 67 -

5.1 CONCLUSIONES ..... - 67 -

5.2 RECOMENDACIONES ..... - 69 -

BIBLIOGRAFIA ..... - 70 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Vista frontal de la biblioteca UPS-CUENCA ..... - 21 -
Figura 2.2 Plano eléctrico antiguo - planta baja de la biblioteca ..... - 23 -
Figura 2.3 Plano eléctrico antiguo - primera planta de la biblioteca ..... - 24 -
Figura 2.4 Plano eléctrico antiguo - segunda planta de la biblioteca ..... - 25 -
Figura 2.5 Consumo de potencia de los días tipo ..... - 27 -
Figura 2.6 Consumo de lunes típico ..... - 27 -
Figura 2.7 Media de consumo de días tipo 1 ..... - 28 -
Figura 2.8 Consumo de sábado típico ..... - 28 -
Figura 2.9 Media de consumo de días tipo 2 ..... - 29 -
Figura 2.10 Consumo Domingos y feriados ..... - 29 -
Figura 2.11 Media de Consumo de días tipo 3 ..... - 30 -
Figura 2.12 Fluctuación de consumo de potencia entre los tres días tipo ..... - 30 -
Figura 3.1 Planos arquitectónicos con las nuevas zonas – planta baja ..... - 33 -
Figura 3.2 Planos arquitectónicos con las nuevas zonas - primera planta ..... - 34 -
Figura 3.3. Planos arquitectónicos con las nuevas zonas – segunda planta ..... - 35 -
Figura 3.4. Distribución final del tablero – Planta baja ..... - 41 -
Figura 3.5. Puesta en marcha de nuevos circuitos PB ..... - 42 -
Figura 3.6. Puesta en marcha de nuevos circuitos primera planta ..... - 42 -
Figura 3.7. Puesta en marcha de nuevos circuitos segunda planta ..... - 43 -
Figura 3.8 Reemplazo por tecnología LED ..... - 43 -
Figura 3.9 Circuito diseñado en Proteus ..... - 45 -
Figura 3.10 Sensor de luminosidad ..... - 45 -
Figura 3.11 Sensor de luminosidad instalado ..... - 45 -
Figura 3.12 Diagrama en bloques del sistema de ahorro de energía ..... - 47 -
Figura 3.13 SIMATIC HMI SIEMENS KTP700 ..... - 47 -
Figura 3.14 Ubicación del HMI en la Biblioteca UPS ..... - 48 -
Figura 3.15 Version de Software TIA Portal ..... - 48 -
Figura 3.16 Información de los dispositivos principales ..... - 49 -
Figura 3.17 Conexión de red en TIA Portal ..... - 49 -
Figura 3.18 Bloques programados ..... - 50 -
Figura 3.19 Bloques función utilizados para la programación ..... - 50 -
Figura 3.20 Imágenes programadas en el HMI ..... - 51 -

Figura 3.21 Pantalla principal y configuración de usuarios ..... - 51 -
Figura 3.22 Monitoreo de estado ON/OFF ..... - 52 -
Figura 3.23 Monitoreo de datos del SENTRON PAC3200 ..... - 52 -
Figura 3.24 SENTRON PAC3200 ..... - 53 -
Figura 3.25. Capacitación al personal de biblioteca UPS ..... - 53 -
Figura 3.26. Capacitación al personal técnico ..... - 53 -
Figura 4.1. Mediciones con el Luxómetro ..... - 54 -
Figura 4.2 Energía sin implementación del proyecto ..... - 56 -
Figura 4.3 Energía solo iluminación – primera etapa ..... - 56 -
Figura 4.4 Energía del circuito de Fuerza ..... - 57 -
Figura 4.5 Energía solo iluminación con implementación por días tipo ..... - 57 -
Figura 4.6.Gráfica de fuerza e iluminación con implementación por días tipo ..... - 58 -
Figura 4.7. Gráfica comparativa por día tipo lunes-viernes ..... - 58 -
Figura 4.8. Gráfica comparativa por día tipo sábado ..... - 59 -
Figura 4.9. Gráfica comparativa por día tipo Domingo y feriados ..... - 59 -
Figura 4.10. Grafica de ahorro de energía de acuerdo con el día tipo ..... - 60 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de circuitos planta baja ..... - 22 -
Tabla 2. Distribución de circuitos primera planta ..... - 23 -
Tabla 3. Distribución de circuitos segunda planta ..... - 24 -
Tabla 4. Consumos días tipos ..... - 30 -
Tabla 5. Niveles mínimos de iluminación[12] ..... - 31 -
Tabla 6. Niveles de iluminación recomendados[13] ..... - 32 -
Tabla 7. Nuevas zonas de la planta baja ..... - 33 -
Tabla 8. Nuevas zonas en la primera planta ..... - 34 -
Tabla 9. Nuevas zonas en la segunda planta ..... - 34 -
Tabla 10. Criterios para unificacion de las áreas de la planta baja ..... - 36 -
Tabla 11. Criterios para unificacion de las áreas de la primera planta ..... - 37 -
Tabla 12 Criterios para unificacion de las áreas de la segunda planta ..... - 38 -
Tabla 13. Agrupacion general según el modo de control ..... - 39 -
Tabla 14. Desgloce de los circuitos que conforman cada grupo (planta baja) ..... - 39 -
Tabla 15. Desgloce de los circuitos que conforman cada grupo (prira planta) ..... - 40 -
Tabla 16. Desgloce de los circuitos que conforman cada grupo (segunda planta) ..... - 40 -
Tabla 17.Cantidad de tubos fluorescentes reemplazados por planta ..... - 44 -
Tabla 18. Ubicación de sensores y potencia comandada ..... - 44 -
Tabla 19.Sensores adicionales ..... - 46 -
Tabla 20. Detalle de red de dispositivos ..... - 48 -
Tabla 21. Detalle de usuarios programados ..... - 51 -
Tabla 22. Medición de niveles de iluminación ..... - 54 -
Tabla 23. Consumo de energía diario antes, después de implementación y ahorrado - 60 -
Tabla 24. Ahorro en energía por días tipo – mes enero 2019 ..... - 60 -
Tabla 25. Inversión del proyecto de iluminación en la biblioteca UPS ..... - 60 -
Tabla 26. Clasificación de energía activa por horario ..... - 61 -
Tabla 27. Cargos tarifarios CENTROSUR – Pliego Tarifario 2020[18] ..... - 61 -
Tabla 28. Energía del mes de enero 2019 ..... - 63 -
Tabla 29. Total, SE y APG ..... - 63 -
Tabla 30. Calendario septiembre 2018 - agosto 2019 ..... - 63 -
Tabla 31. Energía mes de enero 2019 con implementación ..... - 64 -
Tabla 32. Total, SE y APG del mes de enero 2019 con implementación ..... - 64 -

Tabla 33. Valores de ahorro mensual y anual .....- 64 -
Tabla 34. Datos para el análisis de factibilidad.....- 64 -
Tabla 35. Análisis de factibilidad del proyecto implementado .....- 65 -
Tabla 36. Ahorro anual de energía .....- 66 -
Tabla 37. Análisis ambiental anual .....- 66 -

RESUMEN

En este documento se presenta el desarrollo, implementación y análisis de resultados obtenidos de la aplicación de medidas de eficiencia energética y un sistema de control y monitoreo, este proyecto surgió de la necesidad de aprovechar la energía correctamente, ya que se pudo constatar que este edificio utilizaba tecnología obsoleta en los circuitos de iluminación, además de un consumo de energía excesivo debido a que estos permanecían encendidos el mayor tiempo sin tomar en consideración la incidencia de luz natural. Tomando en cuenta estos factores se realizó un estudio de medidas de eficiencia energética aplicables, se encontró conveniente reemplazar las luminarias fluorescentes por tecnología led, por otra parte, se efectuó una zonificación, es decir, reestructurar la interconexión de varios de los circuitos de iluminación, lo cual nos llevó a la unificación que ha sido pensada para comandar de manera precisa los diferentes circuitos en cada una de las plantas de la edificación, esto se basó en dos aspectos: la frecuencia de uso y nivel de iluminación. Considerando lo antes mencionado se procedió a implementar el sistema de control y monitoreo el cual utiliza tres PLC'S Siemens interactuando entre si mediante un protocolo de comunicación maestro - esclavo y una interfaz gráfica de usuario que muestra la información relevante y permite comandar a través funciones preestablecidas la iluminación de la biblioteca de una manera mucho más eficiente. Finalmente se obtuvo los resultados de una evaluación energética, económica y ambiental.

ABSTRACT

This document presents the development, implementation and analysis of the results obtained from the application of energy efficiency measures and a control and monitoring system. This project emerged from the need to use energy correctly, since it was found that this building was using obsolete technology in the lighting circuits, in addition to excessive energy consumption due to the fact that they remained on for the longest time without taking into consideration the incidence of natural light. Taking into account these factors, a study of applicable energy efficiency measures was carried out, it was found convenient to replace the fluorescent luminaires with LED technology, on the other hand, a restructuring of the interconnection of several of the lighting circuits was carried out, which led us to the unification that has been designed to precisely command the different circuits in each of the floors of the building, this was based on two aspects: the frequency of use and lighting level. Considering the above mentioned, we proceeded to implement the control and monitoring system which uses three Siemens PLC'S interacting with each other through a master-slave communication protocol and a graphical user interface that displays the relevant information and allows to command through preset functions the lighting of the library in a much more efficient way. Finally, the results of an energy, economic and environmental evaluation were obtained.

1. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE

1.1 Eficiencia energética

La eficiencia energética tiene como objetivo central reducir el consumo de energía lo que permite ahorrar recursos económicos, minimizando el uso de la energía de origen fósil, potenciando el uso de las energías renovables y así reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [1].

Por eficiencia energética se entiende todos aquellos cambios que conducen a una reducción de la energía utilizada para generar un servicio energético (calefacción, iluminación, etc.). Esta reducción en el consumo de energía se atribuye a mejoras tecnológicas, a una mejor organización y gestión de un sector dado o a una mayor eficiencia económica del mismo [1]. La eficiencia energética es un concepto colateral que impacta a todos los sectores de cualquier economía del mundo. A nivel internacional, es reconocida como una de las estrategias más efectivas para enfrentar asuntos complejos como la seguridad energética, el cambio climático, la competitividad y la trasferencia tecnológica.

En la práctica se puede decir que, aplicar medidas de eficiencia energética busca proveer el mismo nivel de resultados con menos energía.

1.1.1 Iluminación eficiente

El concepto tradicional de iluminación hasta hace unas décadas se centraba en proporcionar luz con el propósito de suministrar una cantidad suficiente para el desarrollo de tareas que no se podrían realizar sin iluminación, se tomaba en cuenta la cantidad, mientras que la calidad de iluminación pasaba a segundo plano o no se tomaba en cuenta.

Hoy el concepto de iluminación eficiente busca satisfacer las necesidades visuales, creando ambientes saludables, utilizando apropiadamente las nuevas tecnologías y minimizando el consumo de energía, contribuyendo en la salud de las personas, disminuyendo el daño ecológico reduciendo recursos y costos.

Actualmente en todo el mundo se han implementado políticas para mejorar la eficiencia en la iluminación. La iluminación es uno de los usos finales de la energía y de los que más contribuye al consumo. Debido a esto es un área atractiva de estudio en el área de la eficiencia energética, dado los altos potenciales de ahorro que se puede conseguir y la relativa facilidad para su implementación [2].

1.2 Medidas de eficiencia energética

Son conocidas como medidas una serie de métodos que incluye innovación, aplicación de tecnología de vanguardia existente en el mercado y la aplicación de normas y estándares que sumados contribuyen a la disminución de consumo energético en un equipo, en una vivienda, en un edificio o hasta en una industria.

El determinar las medidas adecuadas para obtener eficiencia energética permite establecer límites o fronteras a través de mediciones para determinar variables y factores que afectan de manera directa o indirecta una instalación o equipo, con estas mediciones se puede definir las correcciones pertinentes [3].

1.2.1 Mediciones de factores en tiempo real

Uno de los recursos para lograr identificar los elementos más relevantes es el captar en tiempo real el comportamiento del consumo de energía eléctrica en los diferentes espacios del edificio, y por tanto lograr identificar las debilidades y puntos críticos del sistema [4]. Lo cual sirve de base para realizar el análisis de las medidas pertinentes que se aplicarán para el ahorro de energía.

Para la optimización de cualquier proceso la medición es necesaria, lo que se mide se puede analizar y administrar y, posteriormente tomar acciones para mejorar. Resulta impensable querer alcanzar eficiencia sin una fuente confiable de información.

1.2.2 Medidas de iluminación

Hace ya algunos años se empezó con esta iniciativa de proveer de medidas de eficiencia energética en edificios, en Finlandia se encuentra ya en operación el primer hospital que cuenta con un sistema completo de optimización y ahorro. En iluminación este se compone de equipos de alta eficiencia y con tecnología actual, como soluciones LED y sensores de detección de presencia. Se estima un ahorro de entre el 20 y 30% de electricidad entre la tecnología convencional y las nuevas tecnologías aplicadas [4].

En las instituciones educativas el principal error es el uso de luminarias fluorescentes a pesar de las tecnologías con mayor eficiencia ya disponibles en el mercado. La Universidad Técnica de Cluj-Napoca (Rumania) en 2015 culminó un proyecto para implementar la mayor sala de conferencias que utiliza tecnología LED. Al aplicar la tecnología LED para reemplazar las viejas lámparas fluorescentes y los convencionales balastros electromagnéticos pudieron verificar que el consumo eléctrico inicial se redujo alrededor del 75% [5].

La llegada de los diodos emisores de luz (LED) de alto brillo para la iluminación es de particular interés para la iluminación, de ella se ha derivado muchas áreas de investigación y aplicaciones en búsqueda de eficiencia energética, debido a que la tecnología LED muestra una excelente regulación y anchos de banda de pico estrecho, permitiendo un alto grado de control sobre la distribución de la potencia espectral de la luz producida. Además, tienen un bajo consumo de energía, tiempos de conmutación instantáneos y una vida útil larga. La revolución de la iluminación LED está en pleno movimiento, y anuncia una nueva era en la tecnología de control y eficiencia de la iluminación [6].

Remplazar la tecnología vieja y prácticamente obsoleta por nueva tecnología es una de las medidas más eficaces al momento de buscar alcanzar una eficiencia energética con resultados óptimos. Además de estas medidas es importante tener en cuenta que, para lograr reducciones en el consumo, se puede implementar técnicas para el uso de los espacios por horarios, con el fin de mitigar el consumo excesivo en horas críticas y obtener aprovechamiento de las fuentes de luz natural [4].

La zonificación consiste en conectar la iluminación de forma individual en varios sectores. Así, las diferentes partes del edificio pueden ser selectivamente iluminadas en función de la iluminación natural (o entrada de luz), o de acuerdo a las áreas que tengan la misma actividad o los mismos periodos de ocupación [7].

La luz natural está limitada por su disponibilidad, y el aprovechamiento de esta se logra mediante una combinación de elementos arquitectónicos fijos como ventanas, tragaluces, y elementos controlables como las persianas. La mayoría de los sistemas de regulación que responden a la luz natural miden la combinación de esta y el alumbrado artificial con un detector de luz o sensor que capta la cantidad de luz exterior del edificio. Estos sistemas responden a la luz natural y determinan la contribución al alumbrado en una sala midiendo el nivel de luz natural fuera del edifico y/o desde el interior de la sala y controlan el alumbrado artificial de las diferentes zonas utilizando algún algoritmo predeterminado [7].

Como un pequeño resumen se puede concluir de esta sección que las medidas de iluminación para alcanzar una eficiencia energética se resumen en:

i) Reemplazar las tecnologías de baja eficiencia
ii) Brindar iluminación dónde y cuándo sea necesario.

iii) Brindar la cantidad correcta de luz.

iv) Aprovechar la luz del día tanto como sea posible.

1.3 Sistema de control y monitoreo

Generalmente se tiene la idea de que un sistema de control y monitoreo de iluminación es solamente útil para la decoración de un ambiente, pero en realidad estos sistemas permiten mucho más que eso. Por un lado, posibilitan un control de iluminación centralizado, además, permiten interactuar entre varias funciones para el control de la iluminación, monitorear los consumos de energía y lo más importante permiten implementar ciertas medidas ya mencionadas para una mayor eficiencia energética.

1.3.1 Sistema de control

Un equipo controlador de la demanda es, en términos simples, un dispositivo que actúa sobre una señal, que temporalmente apaga cargas eléctricas predeterminadas, manteniendo la demanda de energía bajo control. Dicho controlador apaga o establece ciclos de operación a las cargas cuando la demanda alcanza cierto valor o crece a una tasa predefinida. Este valor debe ser analizado y definido cuidadosamente para que no se afecten las necesidades de uso de las cargas por parte del usuario [8].

El sistema de control es aquel dispositivo cuya función es controlar todos los elementos destinados a la automatización del edificio y tiene la capacidad de comunicar al usuario de los cambios o acontecimientos externos que se generan en el ambiente de operación.

Los controladores se clasifican básicamente en dos tipos:

- Controles manuales de encendido y apagado.
- Controles automáticos programables e inteligentes.

1.3.1.1 Controles automáticos programables e inteligentes

Los sistemas automáticos programables e inteligentes de iluminación, han sido aclamados como el siguiente paso en la evolución de la tecnología de la iluminación, innovan el control tradicional de la iluminación comandado por el usuario reemplazándolo por dispositivos diseñados para controlar la salida de luz según sea necesario [6].

El uso de un PLC (programador lógico controlable) para el control de iluminación de ambientes brinda flexibilidad para controlar los requerimientos de iluminación que se desea obtener ya que es posible adaptar su programación ante cualquier cambio de

funcionamiento y acoplarse ante la aparición de nuevos requerimientos. Es decir brinda alta confiabilidad y escalabilidad, requerimientos esenciales en la automatización [9].

Todas las variables son capturadas y enviadas al procesador. Los datos en el procesador son monitoreados, controlados, examinados y acumulados en una base de datos, para luego ser trasmitidos al sistema de conmutación donde efectúa las acciones necesarias para controlar las luminarias led, actuadores finales, etc.

El PLC realiza dos tareas principales:

- Inspeccionar el proceso mediante el monitoreo del estado de las entradas del PLC, en el cual se conectan los sensores, botones, interruptores, los cuales recogen la información de las variables del proceso.
- Procesa la información de las entradas y generar los comandos necesarios para los actuadores del proceso.

1.3.2 Sistemas de monitoreo

Un análisis más profundo requiere de una medición más selectiva, que permita monitorear el consumo de energía en cada carga. El sistema de monitoreo permite medir el consumo de iluminación independientemente del consumo total de electricidad. Es decir, indica dónde y cómo se está consumiendo para posteriormente poder tomar acciones pertinentes.

La implementación de un sistema de medición inteligente de energía eléctrica es fundamental con el objetivo de registrar los valores de consumo de electricidad, agua o Co_2. Estos sistemas están constituidos por medidores digitales de energía, caudalímetros, controladores lógicos programables, etc. Este sistema permite el monitoreo de parámetros eléctricos y consumo de energía. Además, se implementan en conjunto con una HMI (Interfaz hombre máquina) que permite visualizar y almacenar mediciones para tener un adecuado manejo de la información, creando un historial de datos [10].

1.4 Regulación de la iluminación

El incremento de los precios de la energía eléctrica, las preocupaciones sobre el cambio climático, la independencia y seguridad energética impulsan el cambio del mercado mundial de la iluminación hacia fuentes de luz energéticamente más eficientes. La iluminación, según estimaciones de la International Energy Agency (IEA), representa casi el 20% del consumo mundial de energía eléctrica [11].

Diversos organismos internacionales también están buscando la manera de que los países de Latinoamérica alcancen niveles de eficiencia energética, los cuales han estado con un evidente retraso. Los organismos de normalización son entidades privadas encargadas de realizar normas y estándares, las normas son documentos de aplicación voluntaria, basados en la experiencia y la evolución tecnológica, son de acceso público y representan una herramienta de desarrollo industrial y comercial. A continuación, revisaremos algunas de las normas y recomendaciones para alcanzar una eficiencia energética.

1.4.1 La CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y el IEA (Agencia Internacional de la Energía) sobre iluminación recomiendan a los gobiernos:

a) Implementar estándares obligatorios mínimos de eficiencia energética y etiquetas de energía para la iluminación.
b) Actualización de normas y categorización por etiquetas.
c) Eliminación gradual de productos de baja eficiencia: a través de impuestos, subsidios y regulaciones.
d) Participar en la coordinación regional y la armonización de normas y procedimientos de prueba para reducir los costos de cumplimiento y pruebas.
e) Promover políticas de transformación del mercado, las cuales pueden ser complementarias y permitir cambios de comportamiento dando lugar a importantes ahorros de energía en un corto período de tiempo [11].

1.4.2 Norma ISO 50001

Esta norma internacional especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía. De esta norma se obtienen los siguientes beneficios:

a) Establecimiento de una metodología, clara y estructurada de la gestión de la energía.
b) Reducción de los consumos de energía y costos de producción permitiendo aumentar la competitividad de la empresa.
c) Permite controlar el consumo energético en cada proceso, permitiendo tomar acciones correctivas.

d) Incremento en el uso de energías renovables y aprovechamiento de energías excedentes.
e) Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo en la conservación del medio ambiente.
f) Reducción de costos y oportunidades para el desarrollo de nuevas tecnologías y servicios.

2. RECOPILACIÓN DE DATOS, ANÁLISIS DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS Y ANALISIS DE CURVA DE CARGA

En este capítulo se muestra una recopilación de los datos más relevantes de las instalaciones interiores. Esto se lo realizó con la finalidad de identificar todos los elementos de la instalación y encontrar oportunidades de mejora e implementar las medidas pertinentes de eficiencia energética para obtener un ahorro energético y económico.

2.1 Levantamiento y recopilación de datos

La biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, consta de tres pisos, la planta baja tiene un área de $1181m^2$, en la primera planta de $1039m^2$, y en la segunda planta $1039m^2$.

Figura 2.1 Vista frontal de la biblioteca UPS-CUENCA

Para el levantamiento eléctrico se realizó una visita de campo en donde de manera visual para recolectar datos con respecto a los circuitos de iluminación, fuerza, entre otros. De esta manera, se determina el estado de la instalación para realizar un diagrama unifilar actualizado de la instalación eléctrica. Además, se realizan mediciones de los niveles de iluminación, para posteriormente implementar las medidas correctivas y preventivas.

Después del reconocimiento de campo se realizó un estudio de los planos arquitectónicos en los cuales se agregó la información de cada uno de los circuitos de iluminación interior. Los planos arquitectónicos se actualizaron debido a que en el transcurso de los años se han modificado ciertas áreas del edificio. También se elaboraron los diagramas unifilares de iluminación actualizados (ver Anexos A1).

En el Anexo 2 se observa a detalle el levantamiento con las características de los circuitos de iluminación. En esta sección también se especifica la cantidad, ubicación y distribución de dichos circuitos.

En la Tabla 1, 2 y 3 se encuentra la zonificación de cada planta y en detalle el número de breaker, el número de circuitos con sus respectivos nombres, la cantidad total y por circuito de luminarias, la potencia total y por circuito, además que en las instalaciones algunos de los circuitos funcionaban con interruptores simples y triples.

2.1.1 Planta baja

Al realizar el levantamiento se observó que la planta baja es comandada a través de un tablero constituido por interruptores rotatorios (ver Anexo A3.1), estos interruptores comandan cinco bloques de iluminación, a través de relays de estado sólido. Se constató que cada uno de los interruptores agrupan un total de trece circuitos independientes con sus respectivas protecciones, tal como se muestra en la Tabla 1.

No todos los circuitos son ingresados al nuevo sistema implementado como los cuartos de limpieza, cuartos de tablero, cuarto de bodega, sala no vidente y oficinas.

Tabla 1. Distribución de circuitos planta baja

Breaker	Color	Circuito	Zona	# L	P [W]	Observación
C1		C1_A	Pasillo Intercalado 1	18	549	Interruptor triple
		C1_B	Sala de lectura fondo (A lado de escaleras izq.)	5	135	Interruptor simple
C2		C2	Libre	0	0	
C3		C3	UPS Equipos de respaldo de energía	0	0	
C4		R1	Sala de lectura nueva -ventanas	8	306	I5 Tablero mando
C5		C5_A	Cuartos de tablero	1	27	Interruptor simple
		C5_B	Cuarto Bodega	1	27	Interruptor simple
		C5_C	Cuarto de limpieza	1	27	Interruptor simple
C6		R3	Frente cuartos limpieza -Sala lectura 1	24	675	I4 Tablero mando
C7		R2	Estante libros 1 -Sala de lectura 2	31	1071	I2 Tablero mando
C8			Todos del tablero de mando	0	0	
C9		R1_A	Pasillo Intercalado 2	22	720	I1 Tablero mando
		R1_B	Pasillo Intercalado 3	12	324	I3 Tablero mando
C10		C10	Estante libros 2 -Sala de lectura 3	17	765	Interruptor doble
C11		C11	Estante libros 3 -Sala de lectura 4	21	945	Interruptor doble
C12		C12	Luminarias entrada - timer	11	99	
C13		C13_A	SSHH Hombres	3	81	Interruptor simple
		C13_B	SSHH mujeres	2	54	Interruptor simple
		C13_C	SSHH discapacitado	1	27	Interruptor simple
		C13_D	Sala no vidente	3	81	Interruptor simple
		C13_E	SSHH sala no vidente	1	27	Interruptor simple
C14-16				0	0	
TOTAL				***182***	***6281***	

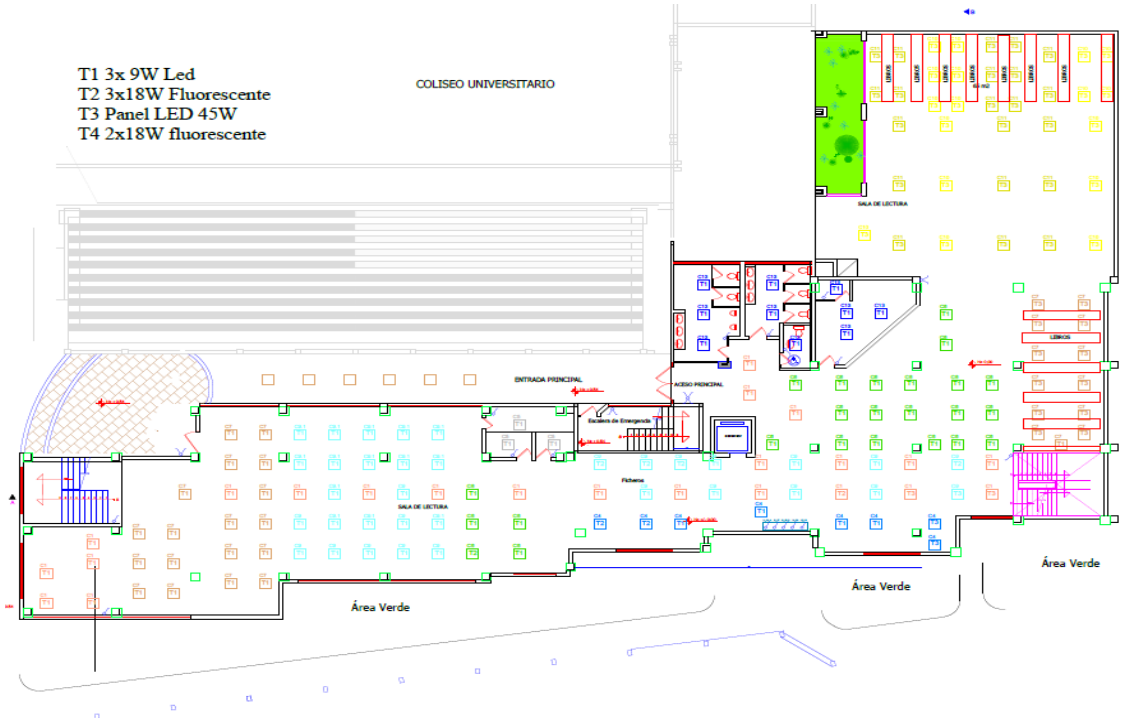


Figura 2.2 Plano eléctrico antiguo - planta baja de la biblioteca

2.1.2 Primera planta

Al igual que en la planta baja el comandado se lo realiza a través de un tablero constituido por interruptores rotatorios (ver Anexo 3.2), con estos interruptores se comandan cinco etapas de iluminación. También se constató que cada uno de estos agrupa un total de nueve circuitos independientes con sus respectivas protecciones, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de circuitos primera planta

Breaker	Color	Circuito	Zona	# L	P [W]	Observación
C1		K1_A	Cubículos 2	2	54	I5 Tablero mando
		K1_B	Cubículos 3	2	54	I5 Tablero mando
		K1_C	Cubículos 4	3	81	I5 Tablero mando
		K1_D	Cubículos 5	2	54	I5 Tablero mando
		K1_E	Cubículos 6	2	54	I5 Tablero mando
		K1_F	Cubículos 7	2	54	I5 Tablero mando
		K1_G	Cubículos 8	2	54	I5 Tablero mando
		K1_H	Cubículos 9	2	54	I5 Tablero mando
		K1_I	Cubículos 10	1	27	I5 Tablero mando
		K1_J	Cubículos 11	1	27	I5 Tablero mando
C2		C2_A	Escaleras izq 1er-2doP	2	72	Interruptor conmutable doble
		C2_B	Cuarto de control	1	27	Interruptor simple
		C2_C	Cuarto de limpieza	1	27	Interruptor simple
		C2_D	Escaleras izq Pb-1erP	2	54	Interruptor simple
		C2_E	Pasillo intercalado izq	14	594	Interruptor simple
C3			libre	0	0	
C4		C4_A	SSHH hombres	3	81	Interruptor simple
		C4_B	SSHH Mujeres	2	54	Interruptor simple

		C4_C	SSHH discapacitados	1	27	Interruptor simple
Breaker	**Color**	**Circuito**	**Zona**	**#L**	**P[W]**	**Observación**
C5		C5	Pasillo intercalado der	17	513	Interruptor conmutable doble
C6		R1_A	Pasillo intercalado der-izq	23	729	I4 Tablero mando
		R1_B	Cubículo 1	2	54	I4 Tablero mando
C7		R4	Estante libros 1	8	360	I3 Tablero mando
C8		R2	Sala de lectura 1	16	459	I2 Tablero mando
C9		R3	Estante libros 2	10	450	I1 Tablero mando
C10			Todos del tablero de mando	0	0	
TOTAL				***121***	***4014***	

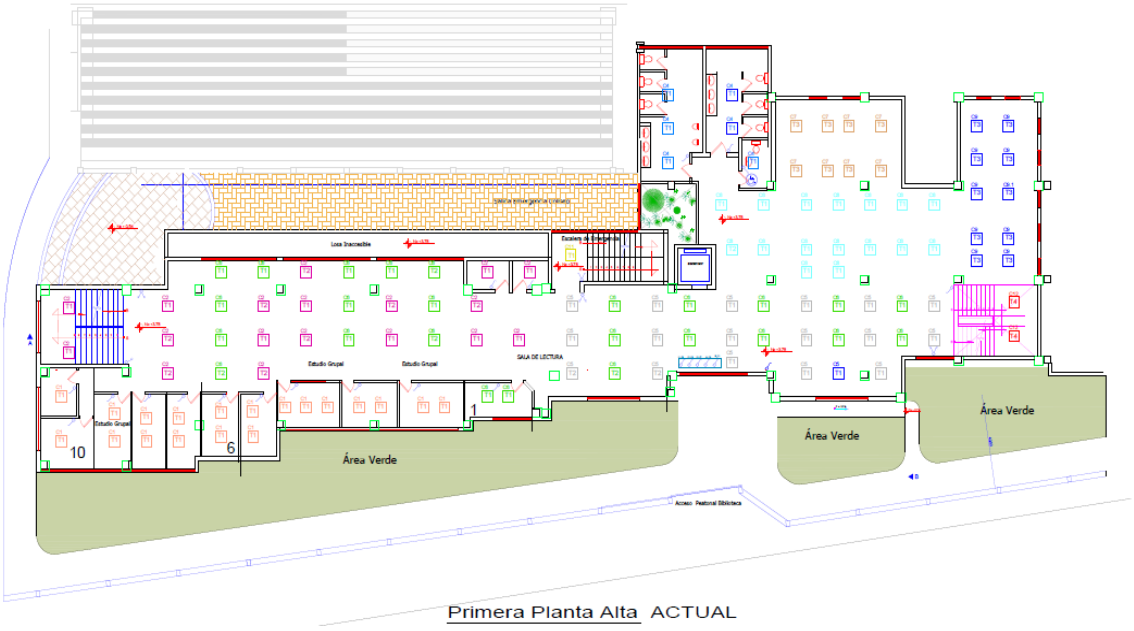


Figura 2.3 Plano eléctrico antiguo - primera planta de la biblioteca

2.1.3 Segunda planta

En esta planta el tablero de comando (ver Anexo A3.3), se encarga de gestionar cuatro etapas de iluminación, a través de los relays de estado sólido, agrupando un total de doce circuitos independientes con sus respectivas protecciones, como se especifica en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución de circuitos segunda planta

Breaker	Color	Circuito	Zona	# L	P [W]	Observación
C1		R4	Estante libros 1 y oficina 3	10	378	I1 Tablero mando
C2			Libre	0	0	
C3		C3_A	Cuarto de control	1	27	Interruptor simple
		C3_B	Cuarto de limpieza	1	27	Interruptor simple
C4		C4	Pasillo intercalado izq	4	189	Interruptor conmutable
C5		R1	Area computadoras y Sala lectura 1	22	702	I2 Tablero mando
C6		R3	Sala lectura 2 - frente oficinas	14	432	I3 Tablero mando
C7		R2_A	Pasillo intercalado der-izq	15	405	I4 Tablero mando

		R2_B	Junto cuarto tesis	6	189	I4 Tablero mando - Interruptor simple
		R2_C	Cuarto tesis	6	162	I4 Tablero mando - Interruptor simple
C8		C8	Pasillo intercalado der	19	621	Interruptor conmutable
Breaker	**Color**	**Circuito**	**Zona**	**# L**	**P [W]**	**Observación**
C9		C9_A	Oficina 1	4	108	Interruptor simple
		C9_B	SSHH Oficina 1	1	27	Interruptor simple
		C9_C	Oficina 2	4	108	Interruptor simple
C10		C10_A	SSHH hombres	3	81	Interruptor simple
		C10_B	SSHH Mujeres	2	54	Interruptor simple
C11		C11_A	Escalera de emergencia terraza	2	36	Interruptor simple
		C11_B	Escalera de emergencia 1er-2doP	3	63	Interruptor conmutado doble
		C11_C	Escalera de emergencia Pb-1erP	4	90	Interruptor conmutado doble
		C11_D	Escalera de emergencia Pb	1	9	Interruptor doble
C12		C12_A	Escaleras der 1er-2doP	4	108	Interruptor conmutado doble
		C12_B	Escaleras der Pb-1erP	2	72	Interruptor conmutado doble
C13			Todos los tableros de mando	0	0	
TOTAL				***128***	***3888***	

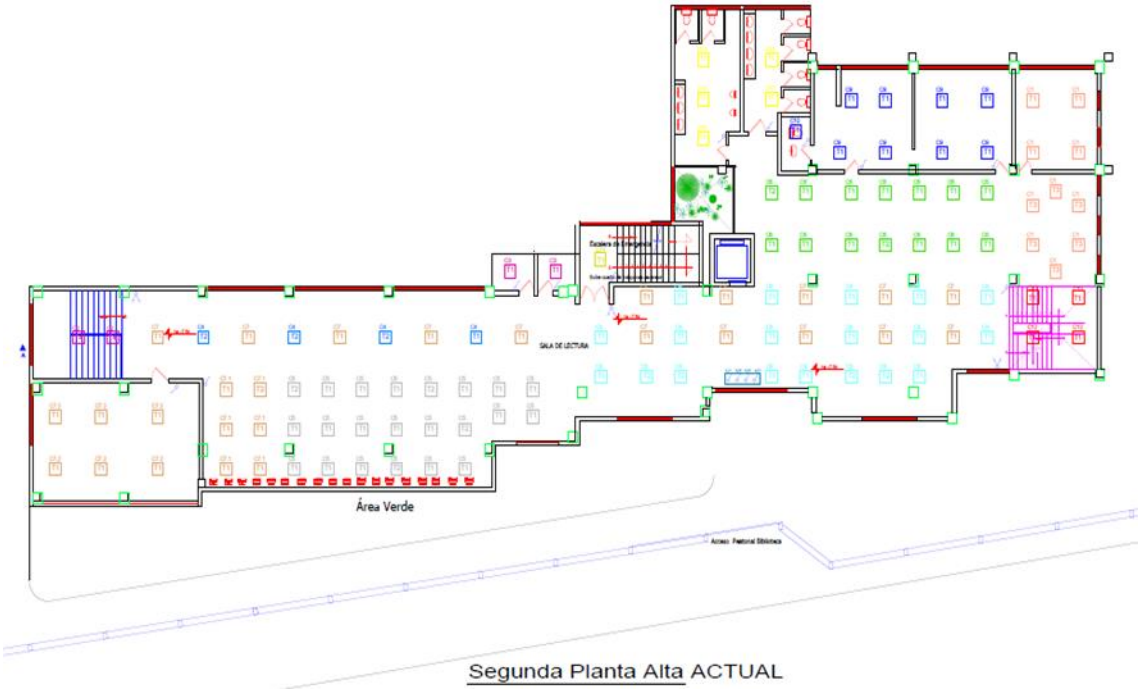


Figura 2.4 Plano eléctrico antiguo - segunda planta de la biblioteca

Según los datos recopilados, la energía es consumida de manera ineficiente, debido a que, sin un sistema de monitoreo y control inteligente de iluminación, los circuitos permanecen activados todo el día, indistintamente de la incidencia de luz natural en varios sectores (ver Anexos A3.4, A3.5, A3.6). Incluso en los periodos vacacionales, en los que

el número de usuarios disminuye el consumo de energía es el mismo ya que no se cuenta con un sistema adaptable e inteligente de ahorro de energía.

2.2 Análisis de curva de carga

2.2.1 Curva de Carga

La importancia de conocer el consumo diario de energía en la biblioteca permite realizar un análisis de los días tipo de consumo. Además, con esto se puede establecer un punto de referencia para una posterior comparación, y con ello establecer la factibilidad de implementar un sistema para mejorar la eficiencia energética.

Para obtener los valores de consumo se analizan los datos obtenidos del medidor instalado en la biblioteca en el periodo septiembre 2019 – febrero 2020.

2.2.2 Perfiles de consumo por días tipo

Este análisis ha sido pensado como uno de los puntos de partida para la determinación las medidas de ahorro a implementar. Un perfil de consumo por días tipo permite conocer el patrón de consumo de los usuarios. Esto proporciona una referencia, para una comparación una vez que se implementen las medidas de ahorro energético.

Se realiza una agrupación de tres días tipo, el primer día tipo los conforman los días de lunes a viernes (días laborables de jornada completa). El segundo día tipo son los consumos de los sábados, en los que se labora media jornada. Finalmente, el tercer día tipo corresponde a los domingos y feriados. En la Figura 2.5 se puede observar los tres días tipos del mes de noviembre.

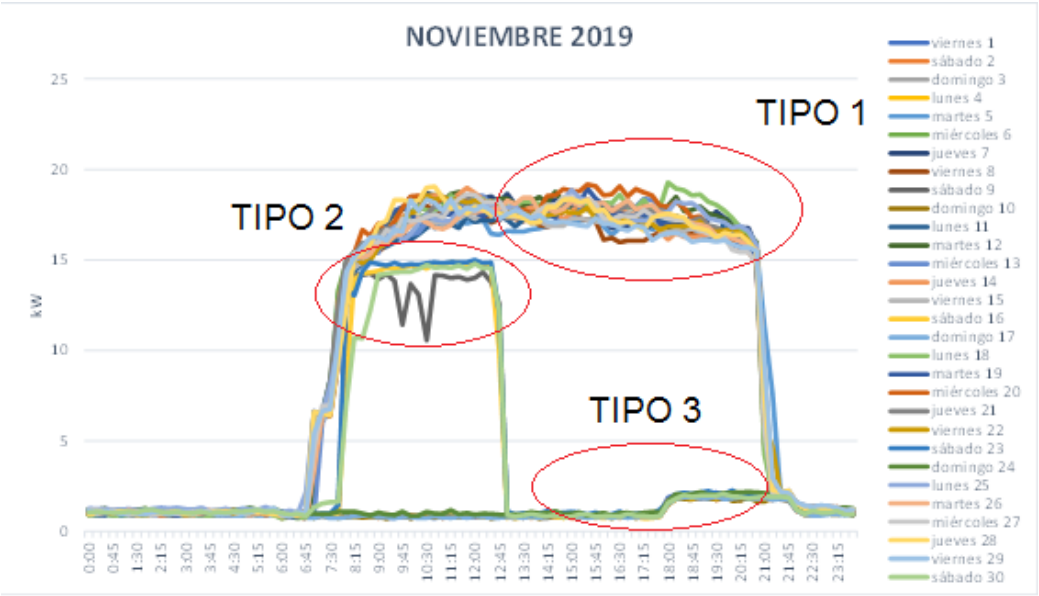


Figura 2.5 Consumo de potencia de los días tipo

Como se pude distinguir en la Figura anterior los días tipo 1 son los de mayor consumo durante toda la jordana laboral. Los días tipo 2, poseen un consumo irregular durante el mes, en tanto que el consumo en los días tipo 3, son casi nulos, aunque se nota que existe un consumo durante las noches.

Los días tipo 1 generan el mayor consumo debido a que conforma el grupo que abarca la mayor cantidad de días y además son de jornada laboral completa. En la Figura 2.6 podemos observar los perfiles de consumo de los lunes típicos en este periodo, los perfiles de consumo de los días típicos de la semana se encuentran en el Anexo A4.

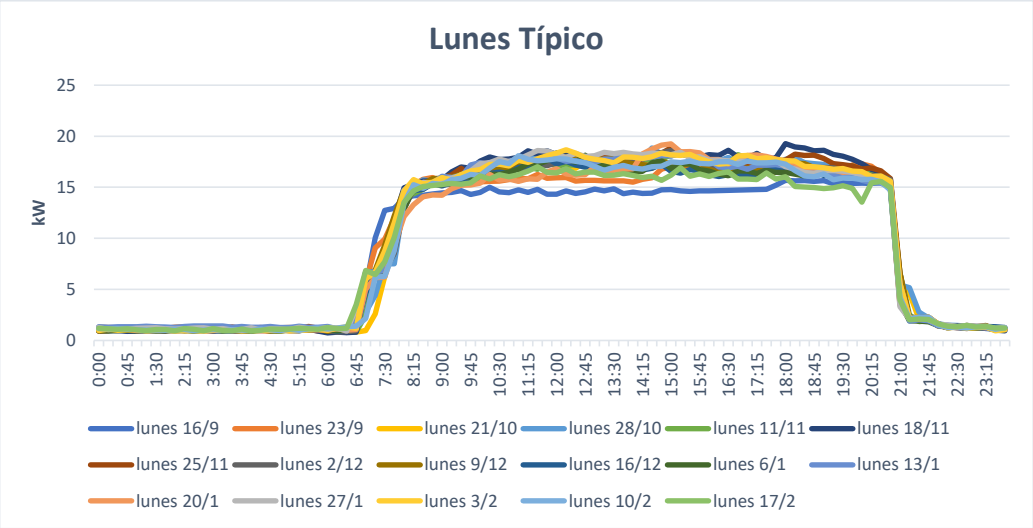


Figura 2.6 Consumo de lunes típico

En la Figura 2.7 se resume el grupo de días tipo 1, se pude observar que la variación entre cada día es mínima y tiende a ser casi constante el consumo a lo largo de los días laborables.

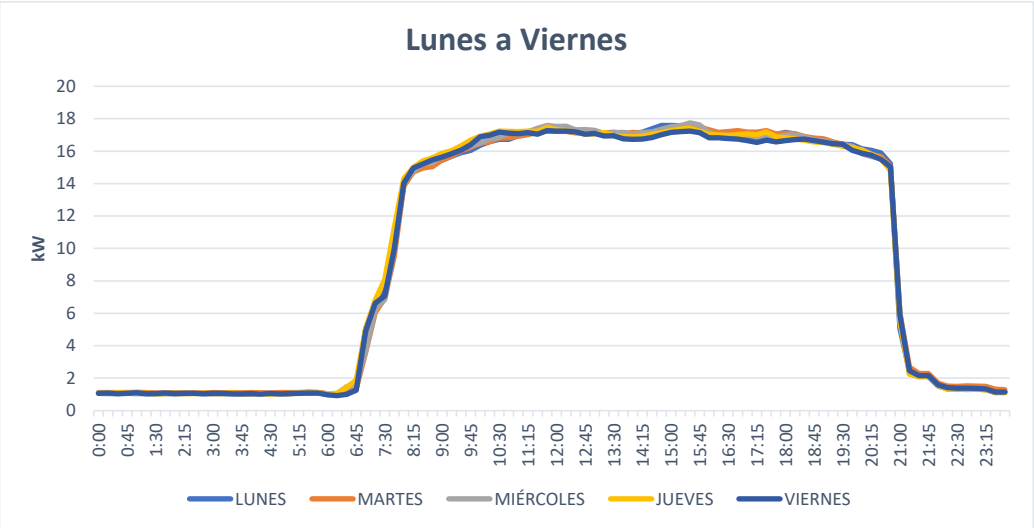


Figura 2.7 Media de consumo de días tipo 1

El segundo grupo de días tipo lo conforman los sábados típicos, el perfil de consumo de estos días se muestra en la Figura 2.8. En este grupo de días la media de consumo energético disminuye (ver Figura 2.9) y el periodo de horas de consumo también, esto último se debe a la disminución de la jornada laboral.

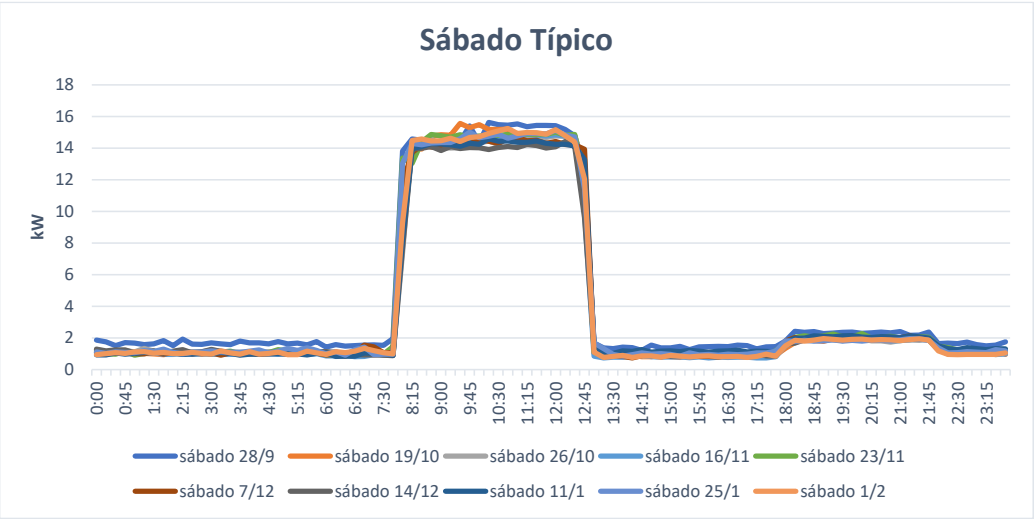


Figura 2.8 Consumo de sábado típico

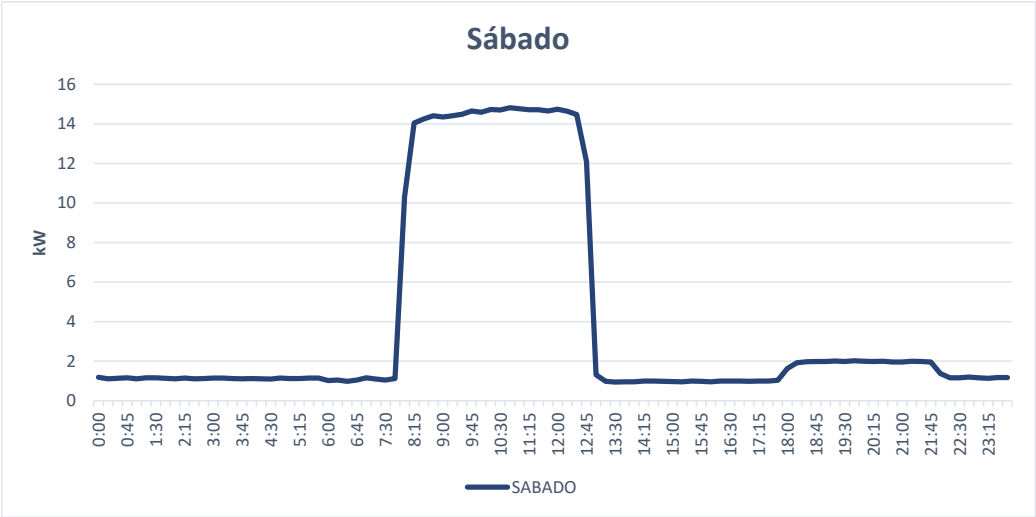


Figura 2.9 Media de consumo de días tipo 2

Finalmente, el tercer grupo de días típicos son los domingos y feriados, en estos días el consumo disminuye notablemente, sin embargo, se observa un consumo en las noches debido que en horario de 18h30 a 22h30 las luminarias de fachada del edificio y el pasillo interno se encienden por seguridad, además de equipos de respaldo de energía UPS y algunos reguladores de voltajes que por descuido quedan encendidos (Figura 2.10), en la Figura 2.11 se muestra la media de consumo de estos días.

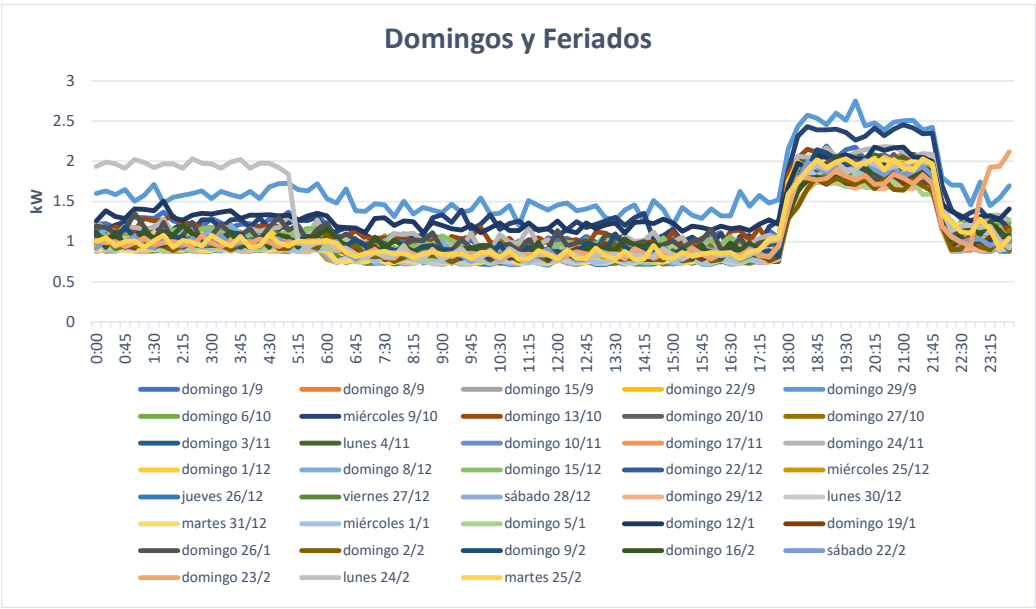


Figura 2.10 Consumo Domingos y feriados

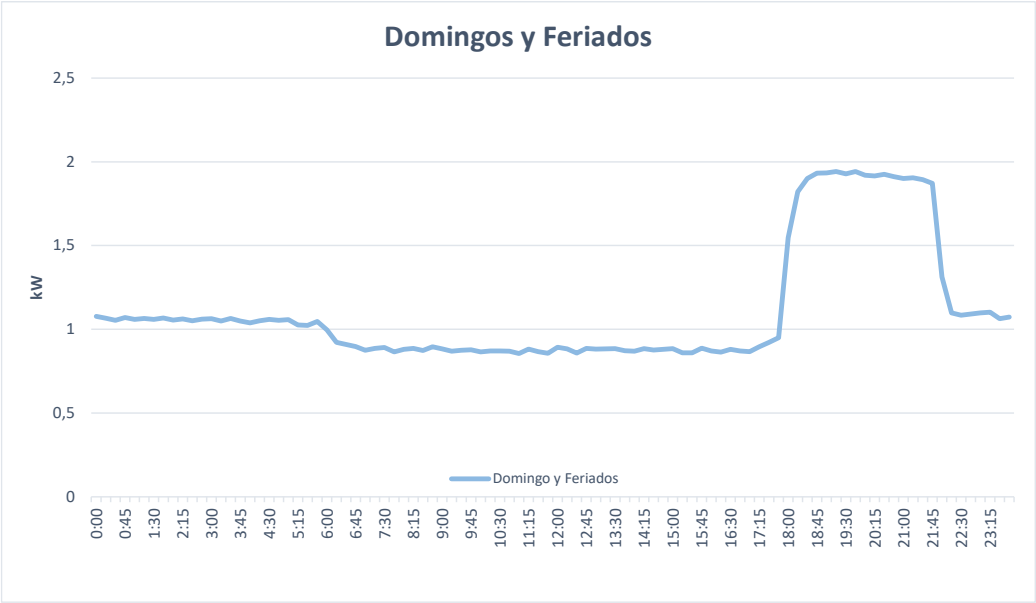


Figura 2.11 Media de Consumo de días tipo 3

El análisis de estos perfiles servirá para determinar las medidas que se implementarán posteriormente. Finalmente, en la Tabla 4 se presenta el resumen del consumo por grupo de días tipo y su perfil de carga promedio, considerando datos desde septiembre 2019 hasta febrero 2020.

Tabla 4. Consumos días tipos

	Lunes-viernes	**Sábado**	**Domingos y feriados**
kWh/día	237,04	95,312	26,703

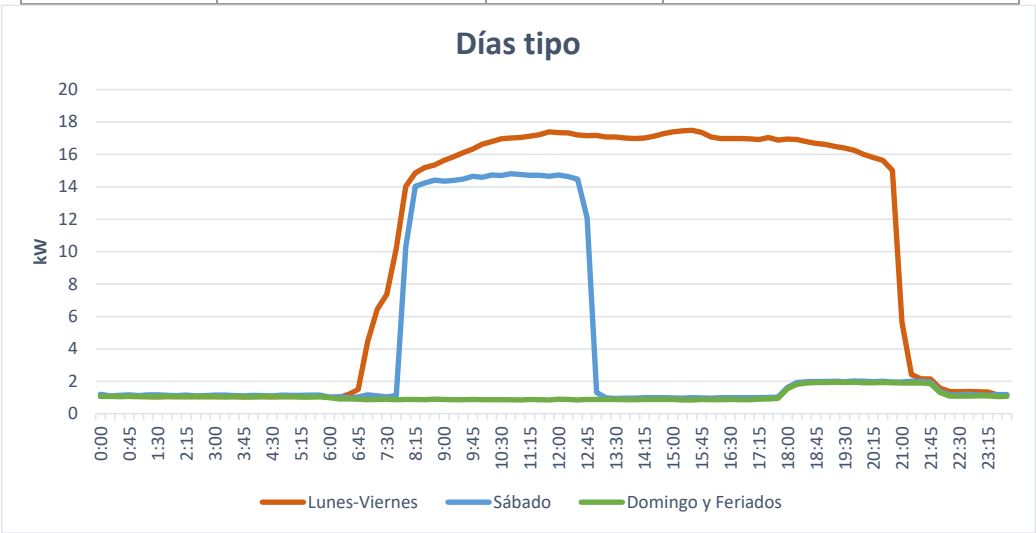


Figura 2.12 Fluctuación de consumo de potencia entre los tres días tipo

3. IDENTIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA Y DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

3.1 Identificación de medidas de ahorro de energía

En este capítulo se encuentran especificadas cada una de las medidas que fueron identificadas y luego implementadas para ahorrar energía en la iluminación de la Biblioteca de la UPS Sede Cuenca. Para la definición de las medidas a aplicarse se rige estrictamente a las normativas y recomendaciones.

Para definir las medidas de ahorro energético se tomó en cuenta los resultados obtenidos en el segundo capítulo ya que se pudo clasificar e identificar las zonas del edificio adecuadas para la aplicación de las distintas medidas de ahorro.

3.1.1 Norma Instituto Ecuatoriano de seguridad social

El Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo Ecuatoriano Decreto ejecutivo 2393 art. 56, habla sobre iluminación. En los niveles mínimos expresa: “Todos los lugares de trabajo y tránsito deberán estar dotados de suficiente iluminación natural o artificial, para que el trabajador pueda efectuar sus labores con seguridad y sin daño para los ojos”. Los valores mínimos de iluminación se calcularán en base a la tabla 5.[12]

Tabla 5. Niveles mínimos de iluminación[12]

Niveles de iluminación para trabajos específicos y similares	
Iluminación mínima	**Actividades**
20 luxes	Pasillos, patios y lugares de paso
50 luxes	Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos.
300 luxes	Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, tales como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.

3.1.2 Norma Ecuatoria de construcción (NEC)

Según la norma NEC los niveles de iluminación óptimos para las tareas visuales más usuales y típicas, se indican en la Tabla 6 [13].

Tabla 6. Niveles de iluminación recomendados[13]

Tipo de local	Nivel mínimo de iluminación recomendado
Áreas de trabajo	300 luxes
Escaleras, escaleras mecánicas	100 luxes

3.1.3 Medidas de eficiencia energética aplicadas

Se realizó una clasificación de cada área según su uso, estas pueden ser ocupadas de forma continua, ocasional e inclusive de manera intermitente, es necesario también conocer la incidencia de luz natural en las diferentes áreas.

Para lograr un ahorro de energía es necesario mejorar la eficiencia de los sistemas preexistentes, lo cual implica una inversión considerable de dinero, tiempo y recursos humanos.

Las propuestas principalmente se establecieron mediante acciones de concientización para disminuir el consumo de energía, es decir basadas principalmente en buenos hábitos y costumbres, estos no representan una inversión económica considerable. Sin embargo, esto requiere tiempo y una constante vigilancia, por este motivo y gracias al avance de la tecnología en materia de eficiencia energética resulta factible implementar un sistema de control y monitoreo para que las medidas de ahorro sean gestionadas directamente desde un sistema electrónico.

Para aprovechar espacios físicos y uso como el counter, librería, se modificarán los circuitos de acuerdo con los espacios y en la necesidad del usuario.

3.1.3.1 Zonificación

La distribución de los circuitos de iluminación de cada una de las plantas estuvo inicialmente seccionada por tramos, lo cual no permitía tener un aprovechamiento de los recursos externos, esto se puede observar con mayor claridad en los planos originales en las Figuras 2.2, 2.3, 2.4.

La medida principal para lograr una eficiencia energética es cambiar la distribución de estos circuitos aplicando una zonificación, es decir reestructurar la interconexión de varios de los circuitos de iluminación. En las tablas 7, 8, 9 se especifica las nuevas zonas, donde cada subzona se convierte en un nuevo circuito. En las Figuras 3.1, 3.2, 3.3 se puede observar su respectiva ubicación a través de los planos de la infraestructura.

Tabla 7. Nuevas zonas de la planta baja

PLANTA BAJA			
Zona	**Subzona**	**Circuito nuevo**	**Ubicación**
ZB	ZB1.1	C1	Sala de Lectura izquierda
ZB	ZB1.2	C2	Sala de Lectura izquierda
ZC	ZC1	C3	Sala de lectura junto-entrada
ZA	ZA1	C4	Mesas PC, Izquierda
ZA	ZA2	C4	Mesas PC, Derecha
ZB	ZB2.1	C5	Sala de Lectura, entrada
ZB	ZB2.2	C6	Sala de Lectura, entrada
ZD	ZD1	C7	Counter principal
ZG	ZG1	C8	SSHH-H
ZG	ZG2	C9	SSHH-M
ZE	ZE1	C10	Estantería abierta 9-14
ZF	ZF1	C11	Sala de lectura grande
ZH	ZH1	C12	Gradas derecha y gradas izq.
ZE	ZE2.1	C13	Estantería abierta 1-3
ZE	ZE2.2	C14	Estantería abierta 4-7
ZC	ZC2	C15	Pasillo de ingreso
ZD	ZD2	C16	Sala de lectura amoblado

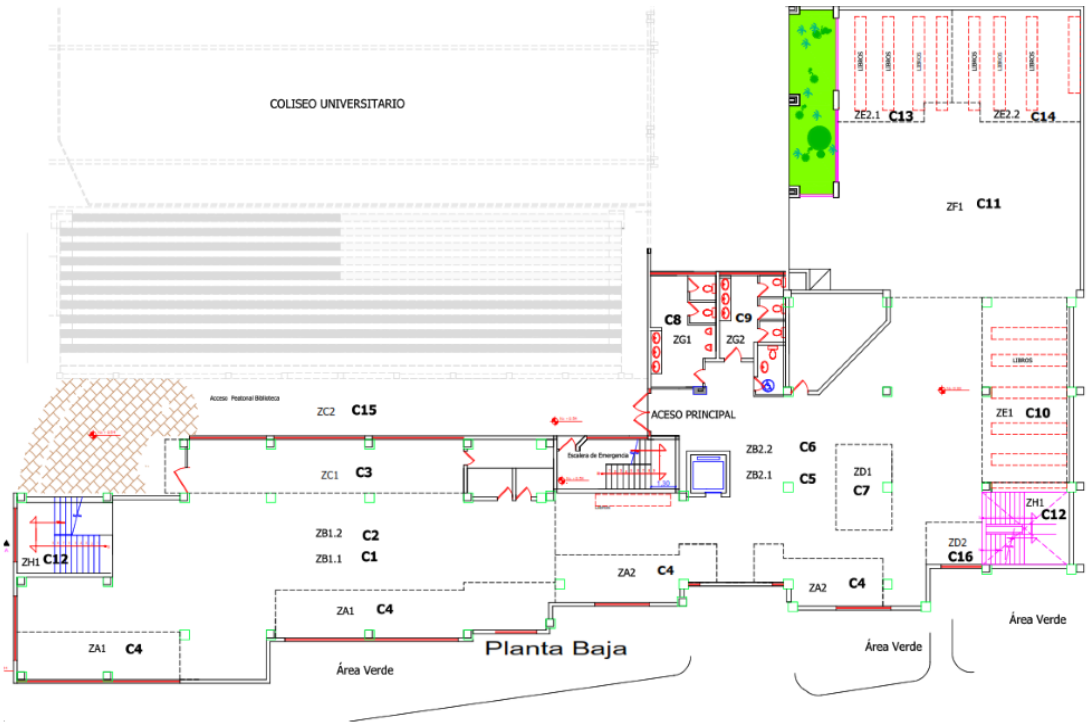


Figura 3.1 Planos arquitectónicos con las nuevas zonas – planta baja

Tabla 8. Nuevas zonas en la primera planta

PRIMERA PLANTA			
Zona	**Subzona**	**Circuito nuevo**	**Ubicación**
ZH	ZH1	P1_C1	Zona de cubículos
ZA	ZA1	P1_C2	Sala de Lectura izquierda
ZB	ZB1	P1_C3	Mesas PC
ZC	ZC1	P1_C4	Sala de lectura junto ventanas
ZC	ZC2	P1_C4	Sala de lectura junto ventanas
ZA	ZA2.1	P1_C5	Sala de Lectura derecha
ZA	ZA2.2	P1_C6	Sala de Lectura, pasillo derecho
ZD	ZD1	P1_C7	Counter PISO 1
ZF	ZF1	P1_C8	SSHH-H
ZF	ZF2	P1_C9	SSHH-M
ZE	ZE1	P1_C10	Estantería abierta 6-12
ZE	ZE2	P1_C11	Estantería abierta 2-5
ZG	ZG1	P1_C12	Grada derecha y grada izq.

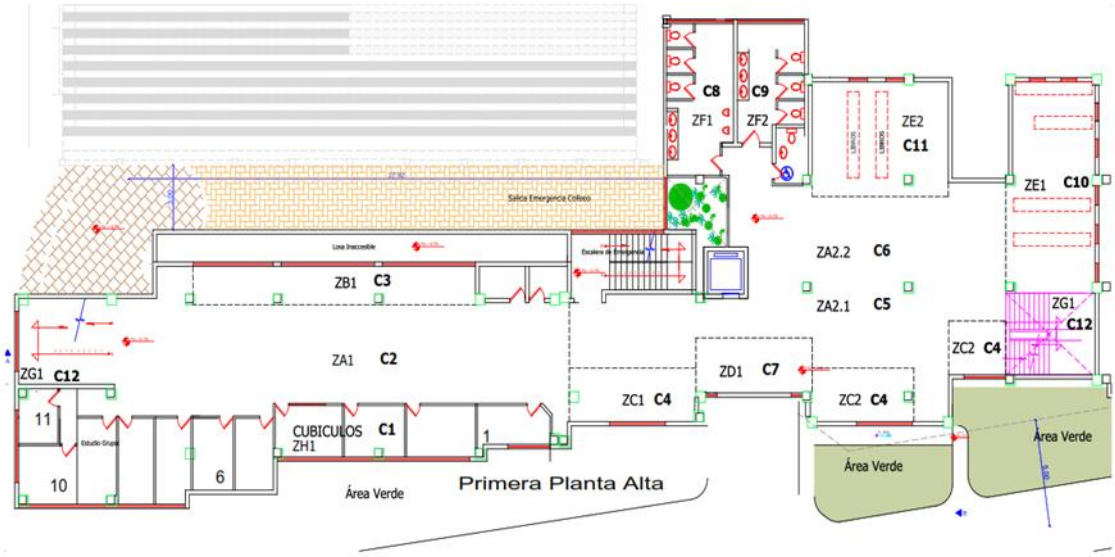


Figura 3.2 Planos arquitectónicos con las nuevas zonas - primera planta

Tabla 9. Nuevas zonas en la segunda planta

SEGUNDA PLANTA			
Zona	**Subzona**	**Circuito nuevo**	**Ubicación**
ZA	ZA1.1	P2_C1	S_Lectura1 izq.
ZA	ZA1.2	P2_C2	S_Lectura2 izq.
ZB	ZB1	P2_C3	S_LecturaD_ventanas
ZC	ZC1	P2_C4	S_LecturaI_ventanas
ZC	ZC2	P2_C4	Sala de lectura junto ventanas
ZA	ZA2.1	P2_C5	S_Lectura1 der.

Zona	Subzona	Circuito nuevo	Ubicación
ZA	ZA2.2	P2_C6	S_Lectura2 der.
ZD	ZD1	P2_C7	Counter
ZF	ZF1	P2_C8	SSHH-H
ZF	ZF2	P2_C9	SSHH-M
ZE	ZE1	P2_C10	Estantería abierta 1-3
ZE	ZE2	P2_C11	Estantería libros

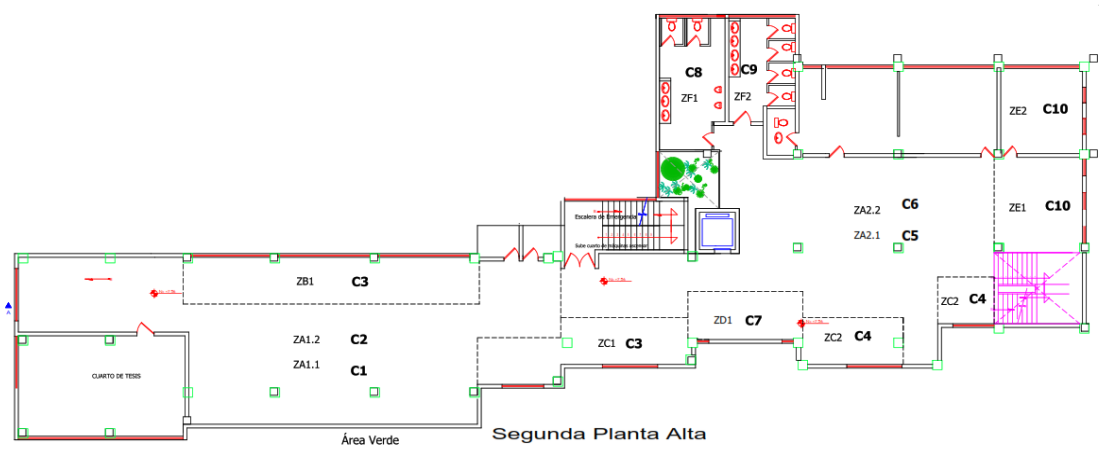


Figura 3.3. Planos arquitectónicos con las nuevas zonas – segunda planta

3.1.3.2 Unificación de circuitos

La unificación de áreas ha sido pensada para comandar de manera precisa los diferentes circuitos en cada una de las plantas de la edificación. Para la unificación se basó en dos aspectos que se consideran primordiales, estos son el nivel de iluminación (incidencia de luz natural, normativa recomendada de iluminación), y la frecuencia de uso (ver Tabla 10, 11, 12).

a. Nivel de iluminación

La biblioteca reflejaba un gran consumo de energía eléctrica por iluminación a pesar de contar con fuentes de luz natural. Y al ser un entorno que usualmente concentra una gran cantidad de usuarios, resulto conveniente aprovechar estas zonas, es decir, se observó una oportunidad de maximizar la eficiencia energética para lograr un ahorro[14][15]. Se consideró la Norma del decreto ejecutivo 2393 art. 56, que indica el nivel correcto de iluminación dependiendo del uso que se dé a los espacios.

Una vez realizada las mediciones correspondientes a cada espacio (detallado en el Capítulo 2) se pudo identificar valores elevados de luminosidad debidos al excesivo número de fuentes de luz artificial, en este caso se retiraron luminarias.

Por el contrario, se encontraron zonas que carecían de iluminación, en este caso fueron reubicadas algunas luminarias. Además, se implementa un sensor de luminosidad y de acuerdo con la cantidad de la luz de día que sea captada se activan o desactivan las luminarias de los nuevos circuitos que cumplen con la necesidad de mantener un nivel adecuado. De esta manera se logra disminuir el tiempo de uso de luz artificial y mantener un nivel de iluminación constante, además se dispone de la opción de controlarlas de forma remota y manual.

b. Frecuencia de uso

Existen zonas dentro de la biblioteca que su uso es destinado para actividades específicas y poco frecuentes. En este caso, la medida es implementar sensores de presencia y un control automático de encendido y apagado por horarios, con esto se logra disminuir la prolongada utilización de luz artificial. Por ejemplo, los baños son un espacio de uso intermitente, con el uso de sensores de presencia las luminarias se activan de acuerdo con las señales recibidas, evitando el desperdicio de energía eléctrica.

Tabla 10. Criterios para unificacion de las áreas de la planta baja

Zona	Subzona	Ubicación	Nivel de iluminación	Frecuencia de uso	Medida a tomar
ZB	ZB1.1	Sala de Lectura izquierda	x	x	Encendido por horario
ZB	ZB1.2	Sala de Lectura izquierda	x	x	Encendido por horario
ZC	ZC1	Sala de lectura junto-entrada	X		Sensor de luminosidad
ZA	ZA1	Mesas PC, Izquierda	x		Sensor de luminosidad
ZA	ZA2	Mesas PC, Derecha	x		Sensor de luminosidad
ZB	ZB2.1	Sala de Lectura, entrada	x	x	Encendido por horario
ZB	ZB2.2	Sala de Lectura, entrada	x		Encendido por horario
ZD	ZD1	Counter principal	x		Encendido manual y automático
ZG	ZG1	SSHH-H		x	Sensor de presencia 2
ZG	ZG2	SSHH-M		x	Sensor de presencia 3
ZE	ZE1	Estantería abierta 9-14		x	Sensor infrarrojo 1
ZF	ZF1	Sala de lectura grande		x	Encendido por horario

Zona	Subzona	Ubicación	Nivel de iluminación	Frecuencia de uso	Medida a tomar
ZH	ZH1	Gradas derecha y gradas izq. A P1		x	Encendido automático
ZE	ZE2.1	Estantería abierta 1-3	x	x	Sensor infrarrojo 2
ZE	ZE2.2	Estantería abierta 4-7	x	x	Sensor infrarrojo 3
ZC	ZC2	Pasillo de ingreso	x		Sensor de luminosidad
ZD	ZD2	Sala de lectura amoblado		x	Sensor de presencia 1

Tabla 11. Criterios para unificacion de las áreas de la primera planta

Zona	Subzona	Ubicación	Nivel de iluminación	Frecuencia de uso	Medida a tomar
ZH	ZH1	Zona de cubículos	x	x	Encendido por horario
ZA	ZA1	Sala de Lectura izquierda	x		Encendido por horario
ZB	ZB1	Mesas PC	x		Sensor de luminosidad
ZC	ZC1	Sala de lectura junto ventanas	x		Sensor de luminosidad
ZC	ZC2	Sala de lectura junto ventanas	x		Sensor de luminosidad
ZA	ZA2.1	Sala de Lectura derecha	x		Encendido por horario
ZA	ZA2.2	Sala de Lectura, pasillo derecho	x		Encendido por horario
ZD	ZD1	Counter PISO 1			Encendido manual y automático
ZF	ZF1	SSHH-H		x	Sensor de presencia 4
ZF	ZF2	SSHH-M		x	Sensor de presencia 5
ZE	ZE1	Estantería abierta 6-12	x	x	sensor infrarrojo 4
ZE	ZE2	Estantería abierta 2-5	x	x	sensor infrarrojo 5
ZG	ZG1	Grada derecha y grada izq. A P2	x	x	Encendido automático

Tabla 12 Criterios para unificacion de las áreas de la segunda planta

Zona	Subzona	Ubicación	Nivel de iluminación	Frecuencia de uso	Medida a tomar
ZA	ZA1.1	S_Lectura1 izq	x	x	Encendido por horario
ZA	ZA1.2	S_Lectura2 izq	x	x	Encendido por horario
ZB	ZB1	S_LecturaD_ventanas	x	x	Sensor de luminosidad
ZC	ZC1	S_LecturaI_ventanas	x	x	Sensor de luminosidad
ZC	ZC2	Sala de lectura junto ventanas	x		Sensor de luminosidad
ZA	ZA2.1	S_Lectura1 der	x	x	Encendido por horario
ZA	ZA2.2	S_Lectura2 der	x	x	Encendido por horario
ZD	ZD1	Counter	x		Encendido manual y automático
ZF	ZF1	SSHH-H		x	Sensor de presencia 7
ZF	ZF2	SSHH-M		x	Sensor de presencia 8
ZE	ZE1	Estantería abierta 1-3	x	x	Sensor infrarrojo 6
ZE	ZE2	Estantería libros	x	x	Encendido manual

Las zonas agrupadas se observan a continuación en las Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16, se realizó tomando en consideración las características de cada zona y el tipo más eficiente de control. Cada PLC controla tres grupos. El grupo 1 contiene a todos los circuitos de las zonas que requieren un control por horario. El grupo 2 está destinado para aquellos que dependen de las medidas tomadas por el sensor luxómetro. Finalmente, el grupo 3 contiene todos los comandados a través de un sensor digital, esto se observa de forma resumida en la Tabla 13 que se indica a continuación.

Tabla 13. Agrupacion general según el modo de control

GRUPO	MODO DE CONTROL
G1	ON-OFF LOCAL CONTROL POR HORARIO
G2	ON-OFF LOCAL SENSOR LUXOMETRO
G3	ON-OFF LOCAL SENSOR DIGITAL

Cada uno de los pisos están subdivididos en tres grupos,

Tabla 14. Desgloce de los circuitos que conforman cada grupo (planta baja)

PLANTA BAJA		
GRUPO	**CIRCUITO**	**Ubicación**
G1	C1	Sala de Lectura izquierda
	C2	Sala de Lectura izquierda
	C5	Sala de Lectura, entrada
	C6	Sala de Lectura, entrada
	C7	Counter principal
	C11	Sala de lectura grande
G2	C3	Sala de lectura junto-entrada
	C4	Mesas PC, Izquierda. Mesas PC Centro
	C12	Gradas derechas y grada izq. A P1
	C15	Pasillo de ingreso
	C16	Sala de lectura amoblado
G3	C8	SSHH-H
	C9	SSHH-M
	C10	Estantería abierta 9-14
	C13	Estantería abierta 1-3
	C14	Estantería abierta 4-7

Tabla 15. Desgloce de los circuitos que conforman cada grupo (prira planta)

PRIMERA PLANTA		
GRUPO	**CIRCUITO**	**Ubicación**
G1	C1	Zona de cubículos
	C2	Sala de Lectura izquierda
	C5	Sala de Lectura derecha
	C6	Sala de Lectura, pasillo derecho
	C7	Counter PISO 1
G2	C3	Mesas PC
	C4	Sala de lectura junto ventanas
	C12	Gradas derechas y grada izq. A P2
G3	C8	SSHH-H
	C9	SSHH-M
	C10	Estantería abierta 6-12
	C11	Estantería abierta 2-5

Tabla 16. Desgloce de los circuitos que conforman cada grupo (segunda planta)

SEGUNDA PLANTA		
GRUPO	**CIRCUITO**	**Ubicación**
G1	C1	S_Lectura1 izquierda
	C2	S_Lectura2 izquierda
	C5	S_Lectura1 derecha
	C6	S_Lectura2 derecha
	C7	Counter
G2	C3	S_Lectura Derecha-Ventana
	C4	S_Lectura Izquierda-Ventana
G3	C8	SSHH-H
	C9	SSHH-M
	C10	Estantería abierta 1-3, cuarto libros

3.1.4 Migración a tecnología LED

Uno de los métodos que comúnmente está relacionado con la eficiencia energética, es la implementación de tecnología LED en reemplazo de las tecnologías tradicionales de iluminación.

En la Biblioteca de la UPS se encontró tubos fluorescentes cuya eficiencia es baja y de elevado consumo, por esta razón fueron reemplazadas la mayoría de las lámparas por tecnología LED, esto incluye paneles y tubos.

3.2 Implementación de las medidas de ahorro de energía y el sistema de control y monitoreo.

Una vez identificadas las medidas a aplicarse, se procedió a diseñar los planos eléctricos - arquitectónicos para conocer la ubicación de las áreas donde fueron implementadas (ver Anexo B1).

3.2.1 Implementación de tableros

En los tableros esta centralizado todos los dispositivos que se utilizan para comandar el sistema de iluminación del edificio, dispositivos de control, protección, conmutación y alimentación, para una fácil identificación en la Figura 3.4 se muestra el tablero de la planta baja y los demás en el Anexo B2. Además, los circuitos de conexión interna de cada tablero se observan en el Anexo B3

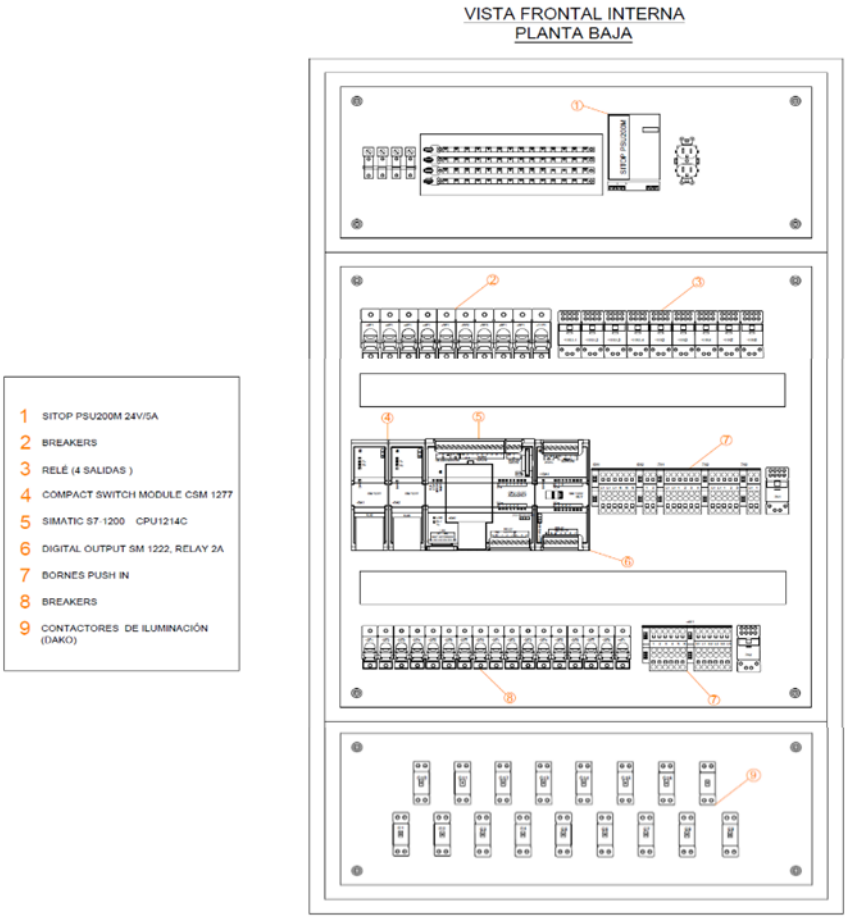


Figura 3.4. Distribución final del tablero – Planta baja

3.2.2 Implementación de nuevos circuitos

En esta sección se muestra el trabajo realizado durante las modificaciones de cada uno de los circuitos en la Biblioteca.

En el diagrama unifilar los circuitos están distribuidos entre tres PLC´s los cuales comandan los circuitos de iluminación de acuerdo con la lectura de sus entradas, estas están conectadas a ciertos sensores, entre ellos: sensores de luminosidad, sensores de presencia y sensores infrarrojos.

Estos PLC's se comunican entre si vía ethernet y también con una pantalla HMI la cual sirve para comandar los circuitos de iluminación.

El diagrama unifilar ayuda a comprender de mejor manera el resultado final de la redistribución de los circuitos (ver Anexo B4).

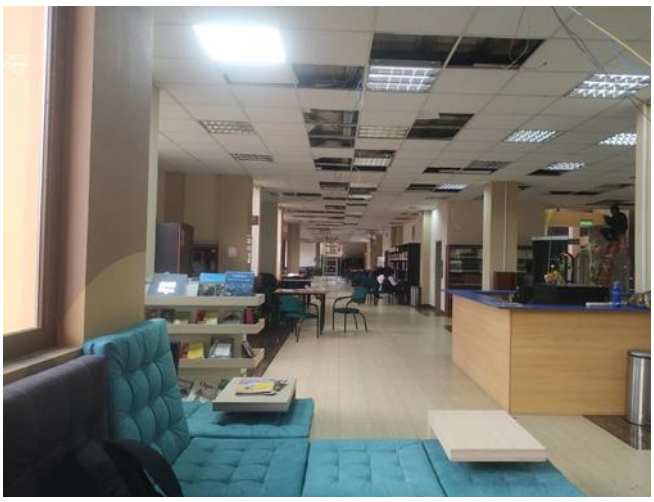


Figura 3.5. Puesta en marcha de nuevos circuitos PB

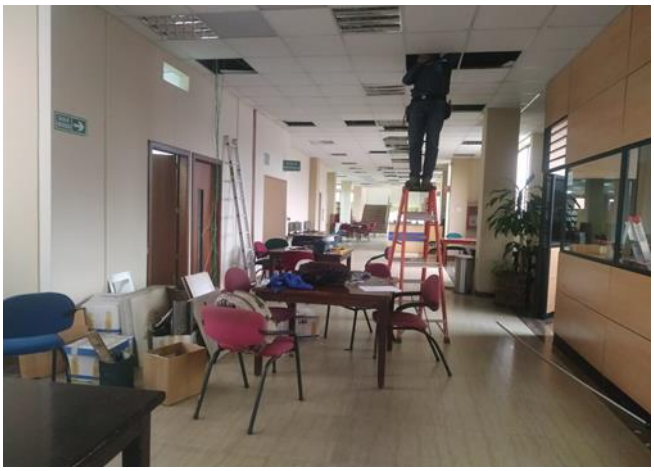


Figura 3.6. Puesta en marcha de nuevos circuitos primera planta

Figura 3.7. Puesta en marcha de nuevos circuitos segunda planta

3.2.3 Cambio de luminarias

El cambio de luminarias se realizó en lugares estratégicos del edificio de la biblioteca, como antecedente cabe mencionar que en la mayor parte de áreas se tenía tubos fluorescentes y una cantidad mínima de paneles led, la tecnología fluorescente tiene una baja eficiencia, esta tecnología representaba un considerable factor de consumo energético, es por este motivo que fueron remplazadas por ochenta y seis tubos LED con un consumo de 9W cada uno y nueve paneles LED de 45W cada uno. También se retiró seis portalámparas que estaban ubicados en áreas con excesiva iluminación y diez fueron reubicados a áreas que tenían un déficit de iluminación.

Para la implementación de este cambio de tecnología fue necesario modificar la conexión del portalámparas (pantalla luminaria) y se retiró los balastros. El desarrollo de estas actividades se observa en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Reemplazo por tecnología LED

La cantidad de tubos fluorescentes reemplazados se observa en la Tabla 17, en el Anexo B5 se encuentra el nuevo levantamiento de circuitos de iluminación especificado la cantidad de luminarias LED que se encuentran instaladas actualmente.

Tabla 17.Cantidad de tubos fluorescentes reemplazados por planta

Plantas	**Tubos reemplazados**
Planta baja	*24*
Primera planta	*29*
Segunda planta	*33*

3.2.4 Adquisición de datos

La adquisición de datos del ambiente se realizó mediante la colocación de varios tipos de sensores, los cuales captan información para que sea convertida en señales eléctricas que son interpretadas por el PLC. La ubicación de estos sensores, el tipo y la potencia comandada se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Ubicación de sensores y potencia comandada

Sensores	**Tipo**	**Circuitos**	**Potencia comandada [W]**	**Ubicación Sensor**	**Ubicación circuito**
S1	Luxómetro	C3, C4, C12, C15, C16	2403	P2	PB, P1, P2
S2	Presencia	C8	81	PB	PB
S3	Presencia	C9	54	PB	PB
S4, S5	Infrarrojo	C10	477	PB	PB
S6	Infrarrojo	C13, C14	1125	PB	PB
S7	Presencia	C8	135	P1	P1
S8	Presencia	C9	54	P1	P1
S9	Infrarrojo	C10	360	P1	P1
S10	Infrarrojo	C11	315	P1	P1
S11	Presencia	C8	81	P2	P2
S12	Presencia	C9	54	P2	P2
S13	Infrarrojo	C10	180	P2	P2

a) Sensor de luminosidad

Se implementa un sistema analógico a través de un LDR se capta la señal de luminosidad el cual es llevado a un partidor de tensión esta señal es amplificado por el circuito integrado LM358 y con un diodo Zener se limita la salida máxima a 10V.

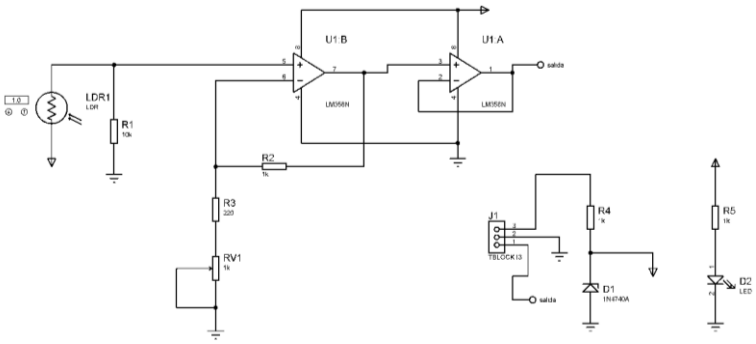


Figura 3.9 Circuito diseñado en Proteus

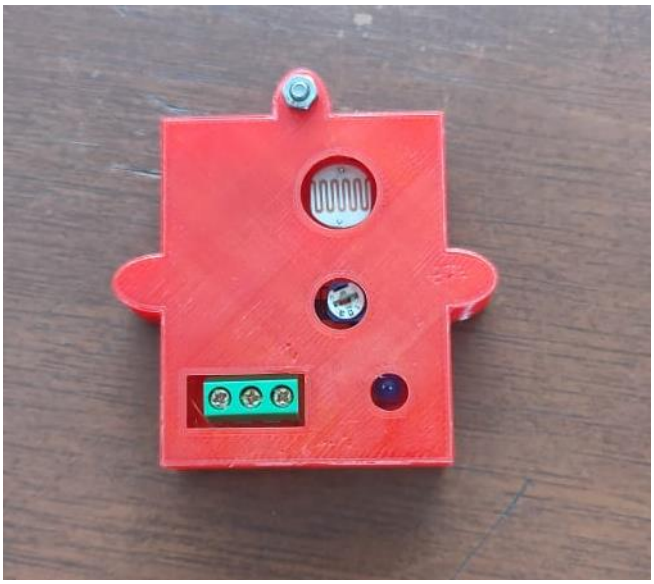


Figura 3.10 Sensor de luminosidad

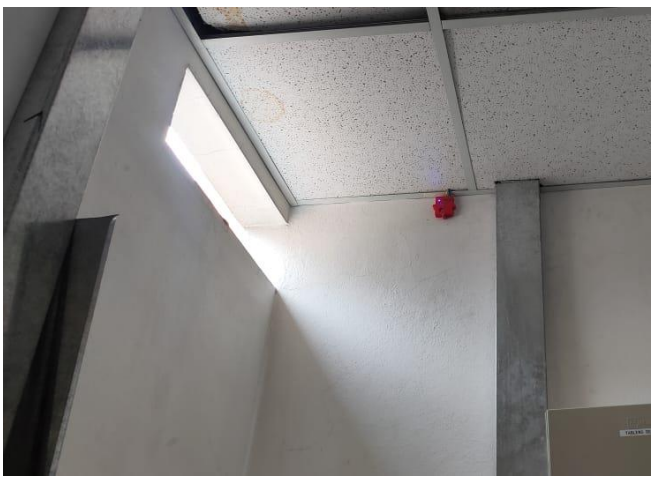


Figura 3.11 Sensor de luminosidad instalado

b) Otros sensores

Para la adquisición de señales externas se utilizó dos tipos de sensores, un sensor infrarojo que está colocado en las estanterías de libros, este sensor al activarse envía una señal que le indica al procesador la presencia de un usuario con lo cual se activa la sección correspondiente.

El otro tipo es el sensor de movimiento, están ubicados en cada baño y al igual que el sensor anterior cumple la función de enviar una señal al procesador para la activación de las luminarias del lugar correspondiente. El manual de instrucciones se puede observar en el Anexo B6 y en la Tabla 19 se observa algunas características de estos sensores.

Tabla 19.Sensores adicionales

Nombre	**Detalle**	**Fotografía**
Sensor infrarojo Automático Beam	Dimensiones. 8 * 5 * 2.5cm(L*W*H) Voltaje. DC12-24V Corriente. R 15mA, P 30mA Distancia. 20m Velocidad de censado. 30ms	
Sensor de movimiento 360° externo	Voltaje. 110-130 VAC´ Frecuencia. 50 – 60 Hz Rango. 360 Distancia. 6m Velocidad de censado. 0.6 – 1.5 ms	

3.2.5 Sistema de control y monitoreo

3.2.5.1 Sistema de Control

El sistema de control de iluminación utiliza un protocolo de comunicación maestro – esclavo, este es un modelo de protocolo de comunicaciones en el cual un dispositivo (el maestro) controla a los demás (los esclavos). Los dispositivos denominados esclavo siguen las órdenes del maestro, es decir, que este último es el encargado de procesar la información que recibe de los dispositivos esclavo, de los sensores, envía y recibe

información que se observa en la interfaz gráfica, para que basado en una lógica programada realice una acción adecuada para cumplir con los requerimientos del ambiente o según el criterio del usuario.

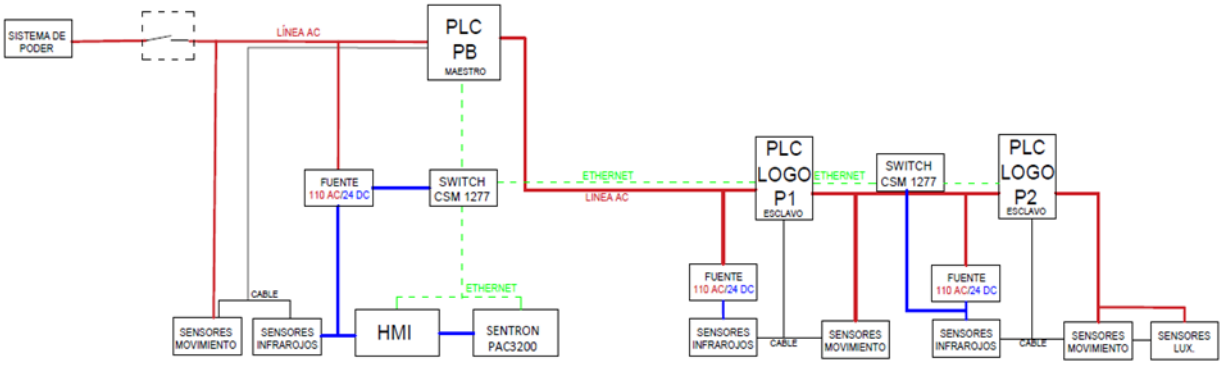


Figura 3.12 Diagrama en bloques del sistema de ahorro de energía

Se observa que cada PLC controla la iluminación de la planta en la que está instalado. El PLC configurado como maestro procesa los datos de entrada o salida a través del HMI, El PLC utiliza programación por bloques para lograr todo lo mencionando, dicha programación la encontramos en el Anexo 7. Este está ubicado en la planta baja, este dispositivo se encarga de gestionar toda la información recolectada por los PLC´S LOGO V8, ubicados en las dos plantas superiores, cada uno configurado como esclavos, y a su vez gestionan la información que reciben de los sensores y realizan las acciones de control sobre los actuadores, esto dependiendo de lo que el dispositivo maestro decida. La comunicación entre dispositivos maestro y esclavo es través del protocolo de comunicación ethernet.

Adicional, la pantalla SIMATIC HMI SIEMENS KTP700 Basic de 7”, controla los diferentes circuitos de cada planta, la pantalla principal se observa en la Figura 3.13. Esta pantalla táctil es el medio para que el usuario comande las zonas de la biblioteca.

Figura 3.13 SIMATIC HMI SIEMENS KTP700

Figura 3.14 Ubicación del HMI en la Biblioteca UPS

a. Programación PLC

En esta sección se detallan los elementos y características principales realizadas en la programación y configuración del PLC. Se utiliza STEP 7 Professional en versión V15.

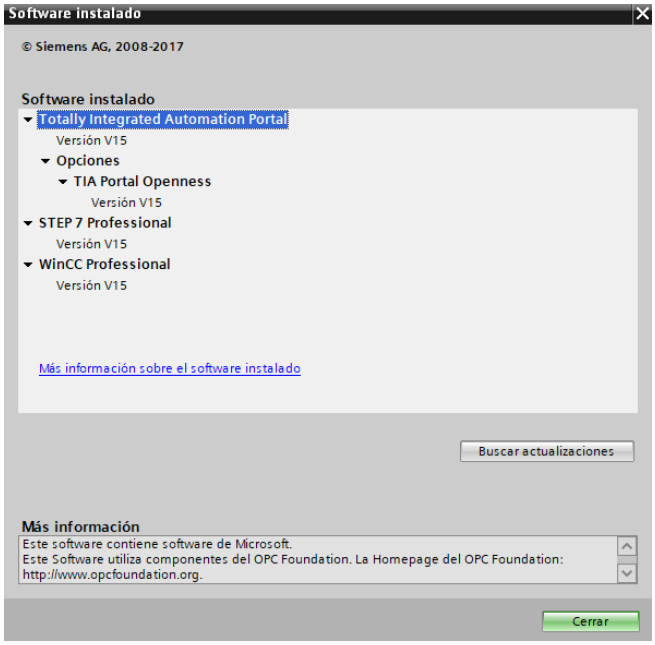


Figura 3.15 Version de Software TIA Portal

En el programa TIA Portal luego de haber creado el nuevo proyecto se configura los dispositivos instalados y se realiza la conexión de red. La conexión de red está configurada de acuerdo con la información en la Tabla 20.

Tabla 20. Detalle de red de dispositivos

Dispositivos	Dirección IP	Observación
PLC S7-1200	192.168.10.10	PLC Principal PB
LOGO!	192.168.10.11	PLC Planta 1
LOGO!	192.168.10.12	PLC Planta 2
PAC3200	192.168.10.15	Analizador de red
HMI KTP700	192.168.10.20	Pantalla HMI
PC programador	192.168.10.90	Laptop

La información del PLC, HMI, PAC3200 son los siguientes

- PLC S7-1200 CPU 1214C (6ES7 214-1BG40-0XB0 V4.2)
- HMI KTP700 Basic PN (6AV 123-2GB03-0AX0 V15)
- MEDIDOR PAC 3200 (7KM211x-xBA00-xAA0 V2.4)

Figura 3.16 Información de los dispositivos principales

Con los dispositivos configurados se añade los módulos de comunicación y se ingresa los valores respectivos.

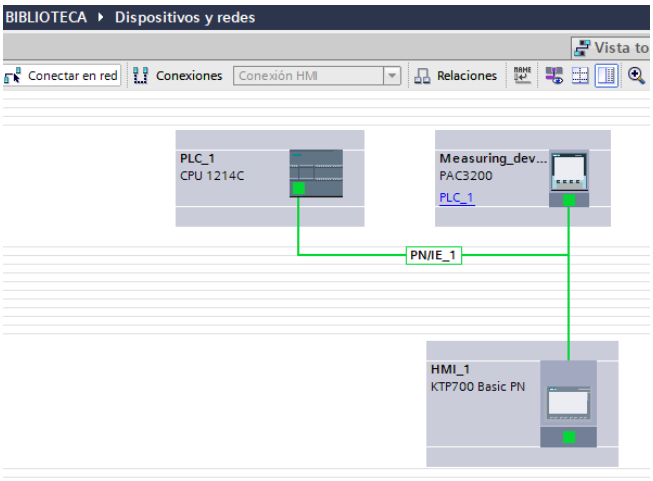


Figura 3.17 Conexión de red en TIA Portal

Con las configuraciones previamente realizadas se procede con la programación de bloques en la sección "Bloques de programa". Se ha utilizado en esta programación todos los tipos de bloques:

- Bloques de organización OB
- Funciones FC
- Bloques de función FB
- Bloques de datos globales DB

En el bloque de organización están alojados los programas necesarios para que el programa pueda funcionar correctamente.

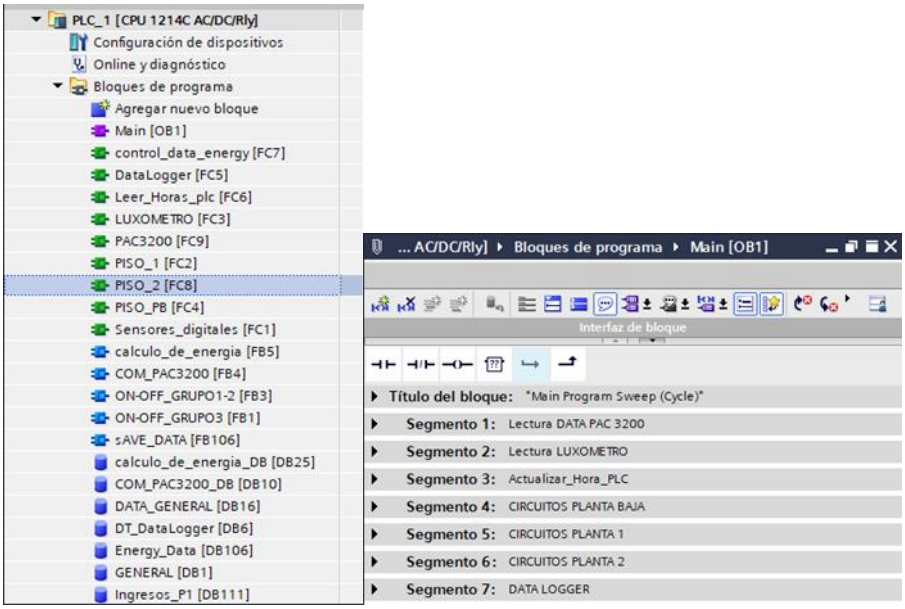


Figura 3.18 Bloques programados

Por cada planta del edificio se utilizan funciones y en cada segmento se realiza la programación para cada circuito, utilizando este método de programación se crean automáticamente plantillas para los diferentes circuitos.

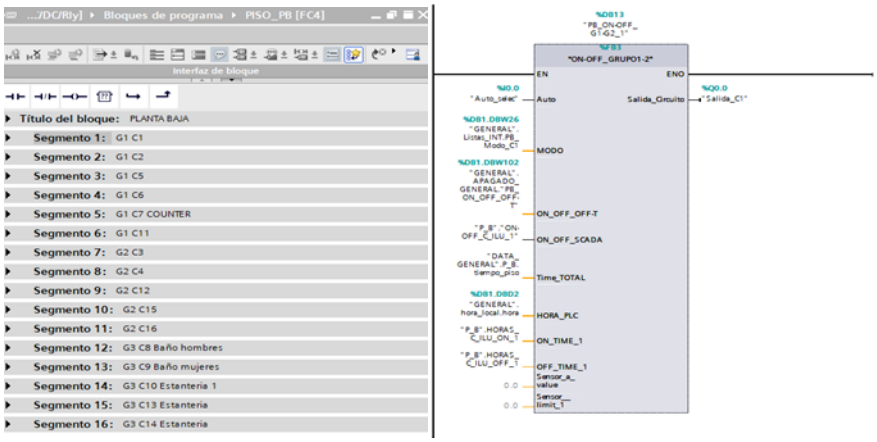


Figura 3.19 Bloques función utilizados para la programación

Para la programación de la pantalla HMI se deben realizar los siguientes pasos:

- Crear las imágenes necesarias
- Configurar la plantilla
- Importar variables del PLC
- Crear variables propias del HMI

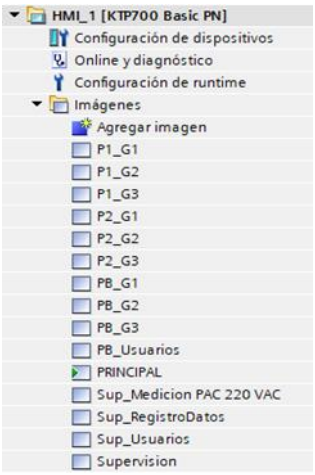


Figura 3.20 Imágenes programadas en el HMI

La configuración de usuarios se realiza en este apartado del HMI, los usuarios programados y su respectiva funcionalidad se detalla en la Tabla 21.

Tabla 21. Detalle de usuarios programados

Usuario	Contraseña	Observaciones
b	1234	Usuario
biblio	1234	Usuario
super	super	Supervisor
admin	admin	Administrador

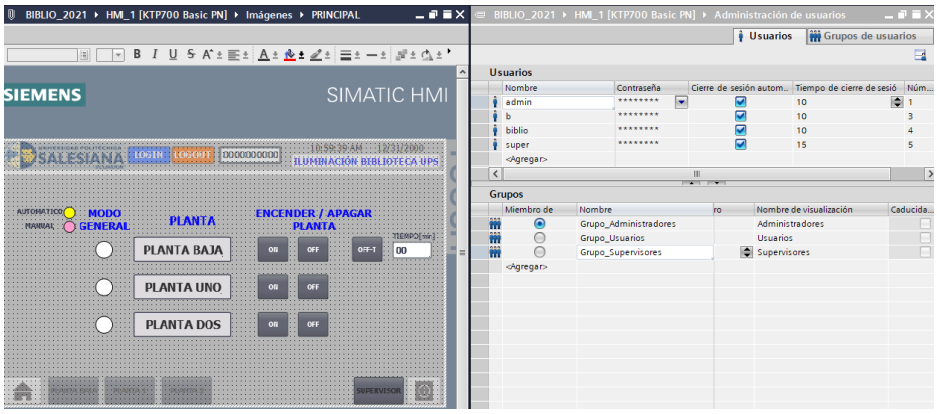


Figura 3.21 Pantalla principal y configuración de usuarios

3.2.5.2 Sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo es el encargado de mostrar información relevante para el usuario o para el administrador, entre las principales utilidades está revisar el estado

de los sensores, revisar el estado de los circuitos, además proporciona información del estado y mediciones del sensor luxómetro, por medio de una interfaz gráfica, la programación de esta en Tia portal se encuentra en el Anexo B8. Sin embargo, la principal función del sistema de monitoreo es revisar el estado del consumo de energía.

Figura 3.22 Monitoreo de estado ON/OFF

- Revisión de circuitos ON/OFF
- Revisión de Sensores ON/OFF
- Revisión del estado del luxómetro
- Revisión de la energía y mediciones a través de la PAC

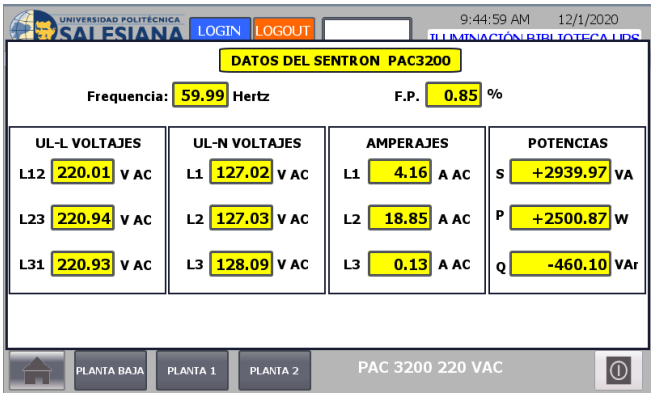


Figura 3.23 Monitoreo de datos del SENTRON PAC3200

Para lograr este cometido se utilizó un SENTRON PAC3200 (ver la Figura 3.24) que se encuentra en el tablero principal, este dispositivo es un multímetro tipo central de medida para la visualización de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica en baja tensión. Posee una pantalla gráfica de cristal líquido que permite la lectura de las distintas mediciones, dispone también de una serie de útiles funciones de monitoreo, diagnóstico y servicio técnico, un contador de tarifa doble de energía activa y reactiva.[16].

Figura 3.24 SENTRON PAC3200

3.2.6 Capacitación al personal

Para comprender la operación de la interfaz gráfica se desarrolló de manera detallada un manual de usuario, esto se puede observar en el Anexo B9.

Este manual de usuario fue entregado al personal de la biblioteca y supervisor técnico de la Universidad, además se realizó una capacitación con la finalidad de explicar el funcionamiento del sistema y como controlarlo. Se dio a conocer la escalabilidad de esta implementación para la posibilidad a mejoras en futuros proyectos.

Figura 3.25. Capacitación al personal de biblioteca UPS

Figura 3.26. Capacitación al personal técnico

4. EVALUAR LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA Y EL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO, ENERGÉTICO Y AMBIENTAL

Este proyecto fue aprobado por la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca con la finalidad de implementar un sistema para mejorar la eficiencia energética de la Biblioteca. Esta implementación retribuye a la institución con un ahorro económico que se refleja una disminución de costos por consumo de energía, además con la implementación de nuevas tecnologías se pudo obtener un sistema amigable con el medio ambiente.

4.1 Evaluación Técnica

Para la evaluación técnica, se consideró las normas especificadas en las secciones 3.1.1 y 3.1.2 donde se encuentra los niveles de iluminación recomendados para las diferentes áreas de una edificación, esto se comparó con las mediciones que se tomaron con un luxómetro (ver Figura 4.1) de cada uno de los circuitos del edificio, en dos escenarios de día y de noche. En la Tabla 22 se observa las mediciones antes y después de la implementación, y se muestra como en ciertos circuitos se cumple la norma, y en algunos cumplen de manera parcial.

Figura 4.1. Mediciones con el Luxómetro

Tabla 22. Medición de niveles de iluminación

CIRCUITO PB	ETIQUETA	ANTES DÍA [LUX]	ANTES NOCHE[LUX]	IMPLEMENT. DÍA [LUX]	IMPLEMENT. NOCHE [LUX]	NORMA [LUX]	CUMPLE NORMA
C1	Sala de Lectura izq.	779	406	550	406	300	si
C2	Sala de Lectura izq.	874	350	680	430	300	si
C3	Sala de Lectura	1865	250	1625	296	300	no
C4	Estudio individual	1200	260	1100	300	300	si
C5	Sala de Lectura	540	255	500	255	300	no
C6	Sala de Lectura	713	300	700	380	300	si
C7	Counter	400	275	500	379	300	si
C8	SSHH-H	180	249	250	249	50	si
C9	SSHH-M	240	200	270	200	50	si

CIRCUITO PB	ETIQUETA	ANTES DÍA [LUX]	ANTES NOCHE[LUX]	IMPLEMENT. DÍA [LUX]	IMPLEMENT. NOCHE [LUX]	NORMA [LUX]	CUMPLE NORMA
C10	ESTANTERÍA_9-14	450	380	450	380	300	si
C11	Sala de lectura	545	370	545	370	300	si
C12	Gradas	252	189	252	189	100	si
C13	ESTANTERÍA_1-3	480	460	480	460	300	si
C14	ESTANTERÍA_4-7	570	540	570	540	300	si
C15	Entrada principal	1400	250	1400	250	20	si
C16	Sala de lectura recreativa	1100	570	1100	570	300	si
CIRCUITO P1	**ETIQUETA**	**ANTES DÍA[LUX]**	**ANTES NOCHE[LUX]**	**IMPLEMENT. DÍA[LUX]**	**IMPLEMENT. NOCHE[LUX]**	**NORMA [LUX]**	**CUMPLE NORMA**
C1	CUBÍCULOS	800	600	800	600	300	si
C2	Sala de Lectura izq.	603	280	590	280	300	no
C3	Estudio individual	887	255	887	255	300	no
C4	Sala de Lectura	1312	281	1200	281	300	no
C5	Sala de Lectura der.	485	260	460	290	300	no
C6	Sala de Lectura	550	250	500	357	300	si
C7	Counter	300	260	600	308	300	si
C8	SSHH-H	190	180	250	180	50	si
C9	SSHH-M	350	220	481	220	50	si
C10	ESTANTERÍA_6-12	609	480	609	480	300	si
C11	ESTANTERÍA_2-5	480	380	480	380	300	si
C12	Gradas	305	150	305	150	100	si
CIRCUITO P2	**ETIQUETA**	**ANTES DÍA[LUX]**	**ANTES NOCHE[LUX]**	**IMPLEMENT. DÍA[LUX]**	**IMPLEMENT NOCHE[LUX]**	**NORMA [LUX]**	**CUMPLE NORMA**
C1	Sala de Lectura izq.	270	228	370	228	300	no
C2	Sala de Lectura izq.	350	280	470	326	300	si
C3	Sala de Lectura	768	220	750	220	300	no
C4	Sala de Lectura	1137	230	1000	230	300	no
C5	Sala de Lectura der.	560	260	550	260	300	no
C6	Sala de Lectura der.	508	325	490	325	300	si
C7	Counter	405	412	717	412	300	si
C8	SSHH-H	390	220	390	304	50	si
C9	SSHH-M	509	225	509	225	50	si
C10	ESTANTERÍA	450	385	450	385	300	si

4.2 Evaluación energética

En esta sección, se realizó un análisis del consumo de energía durante las fases del proyecto, se logró determinar el ahorro de energía, tomando como referencia los días tipo.

En la Figura 4.2 se muestra el consumo de energía total de la biblioteca por días tipo, antes de la implementación del sistema, tomando los valores de la base de datos del medidor trifásico inteligente DISCAR instalado [17].

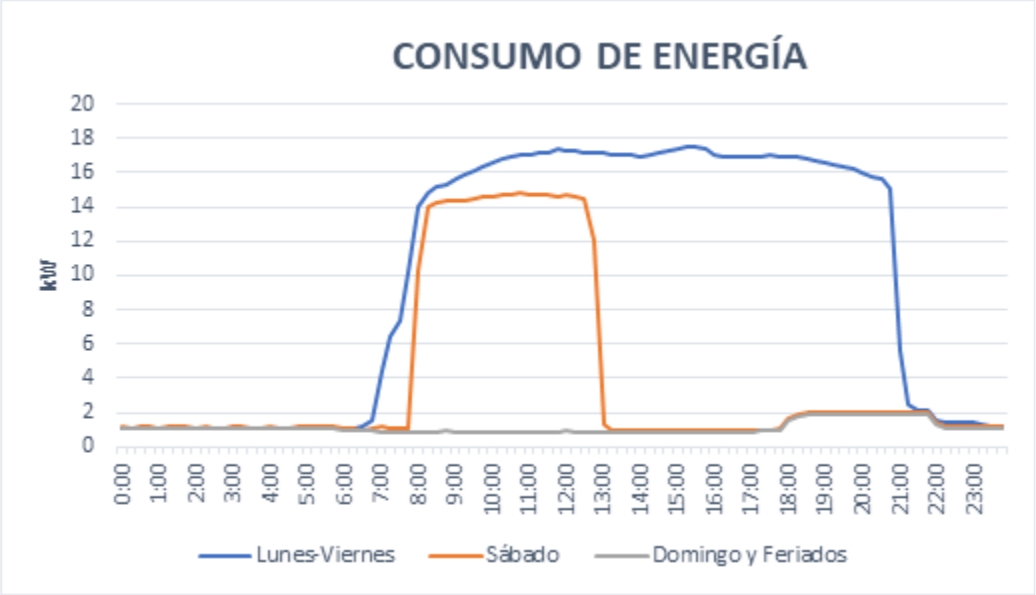


Figura 4.2 Energía sin implementación del proyecto

Con una primera etapa, se realizó un cambio de luminarias y manteniendo, sin aplicar sensores ni ciertas medidas de ahorro de energía, es decir todo encendido (como era el escenario habitual en la biblioteca), esto se puede observar en la Figura 4.3 Se debe mencionar que son datos extraídos del sistema de medición implementado a través de la PAC3200, considerando solo la iluminación.

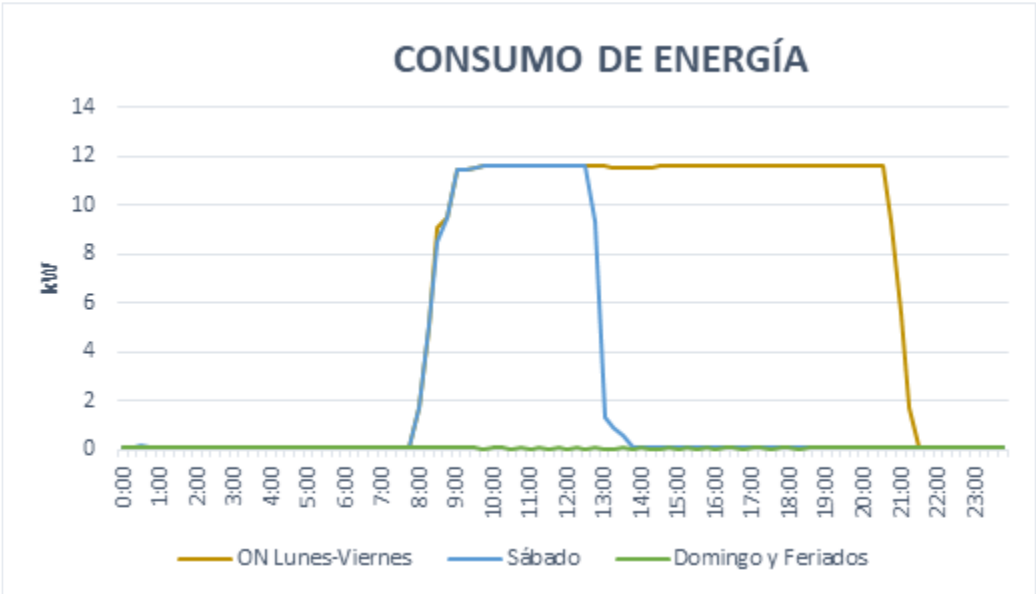


Figura 4.3 Energía solo iluminación – primera etapa

Prosiguiendo con el análisis, ya que el dispositivo PAC3200 mide solamente energía de iluminación fue preciso restarlo del consumo total del medidor principal DISCAR instalado en la biblioteca para así obtener el consumo de energía de los circuitos de fuerza, representado en la Figura 4.4.

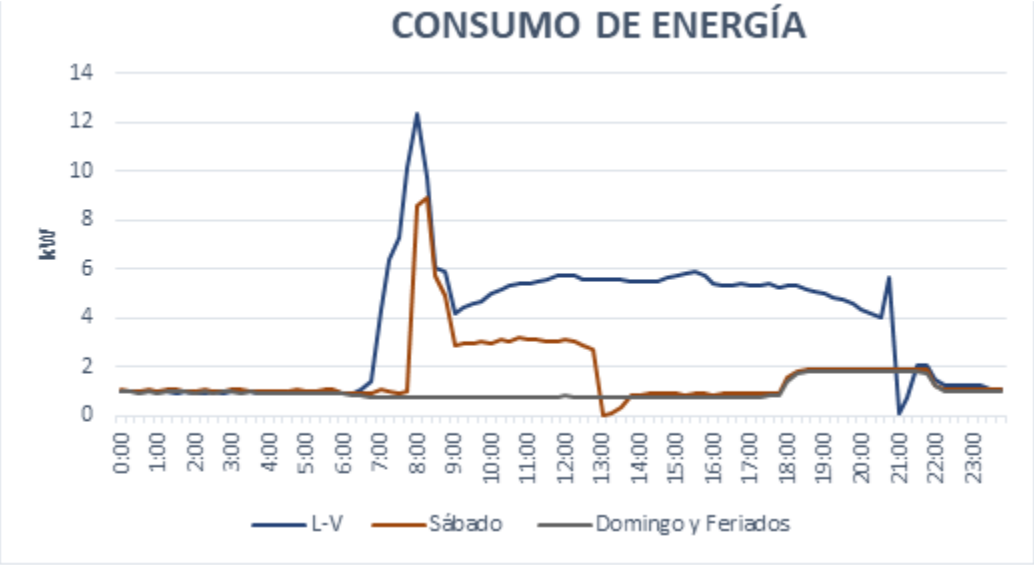


Figura 4.4 Energía del circuito de Fuerza

Finalmente, una vez que se realizó la implementación, escenario en el cual actúan los diferentes sensores y todas las medidas de ahorro ya implementadas, se estimó el consumo de energía en un día ordinario con estudiantes en la biblioteca. En la Figura 4.5 se puede observar los consumos por día tipo solo iluminación.

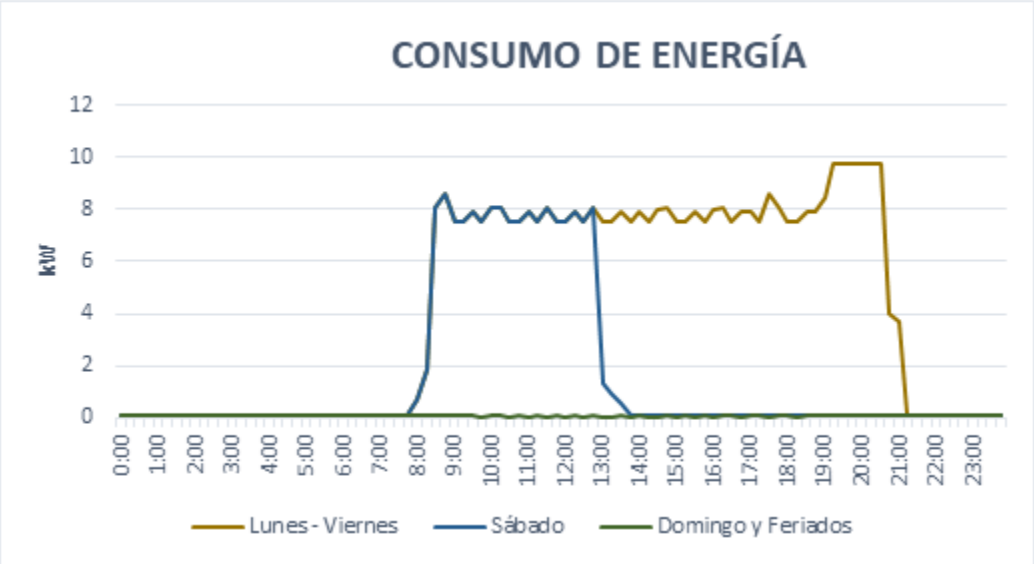


Figura 4.5 Energía solo iluminación con implementación por días tipo

De la Figura 4.5, se puede observar el consumo de energía de los circuitos de iluminación de la biblioteca por días tipo, a estos fue necesario sumar los valores de consumo de energía de los circuitos de fuerza de la Figura 4.4, obteniendo así el consumo de energía actual de la biblioteca (ver Figura 4.6).

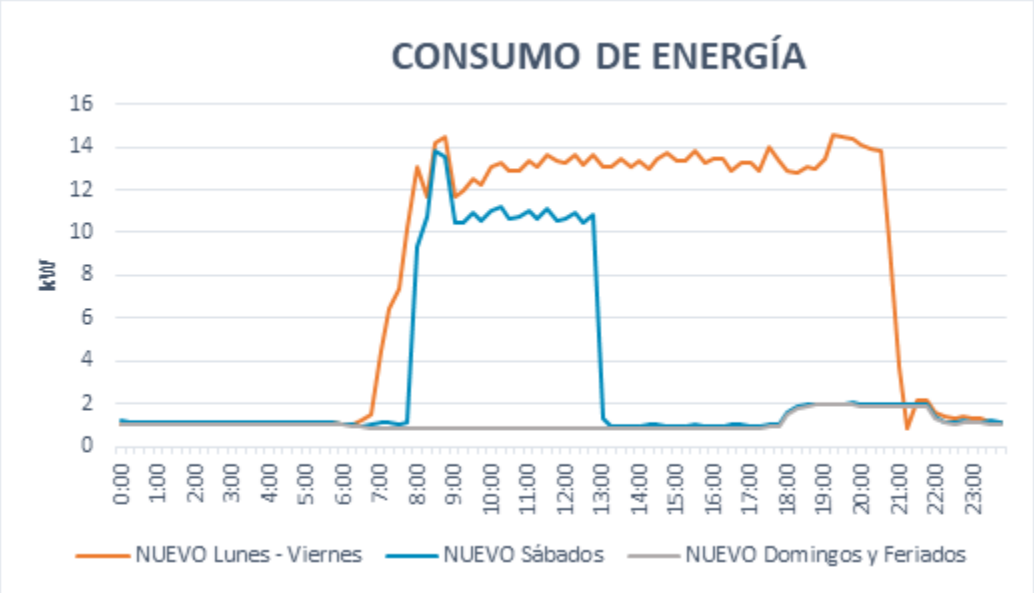


Figura 4.6.Gráfica de fuerza e iluminación con implementación por días tipo

A continuación, en las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se muestran las curvas comparativas por días tipo antes y después de la implementación.

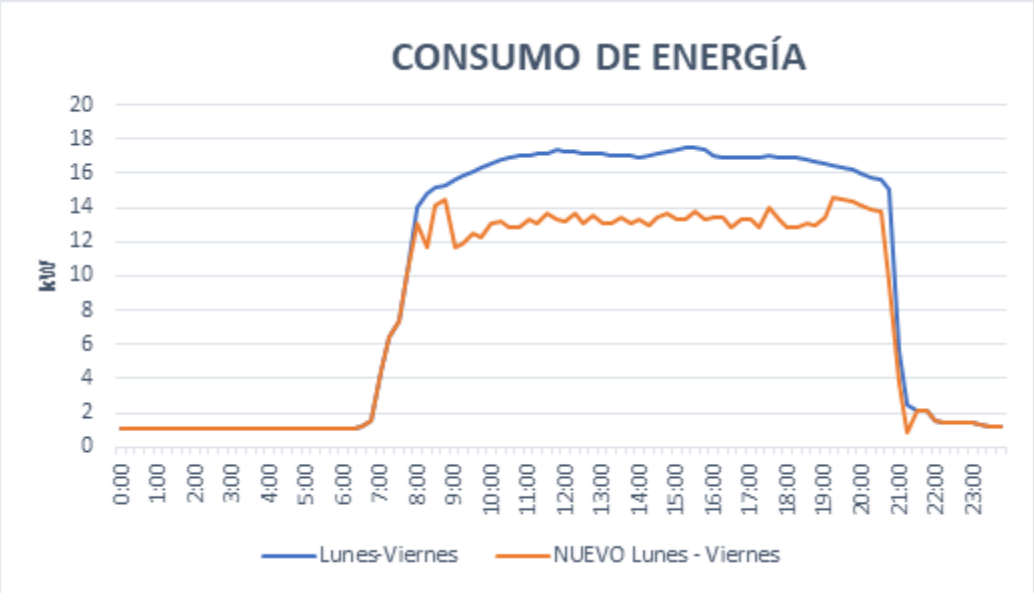


Figura 4.7. Gráfica comparativa por día tipo lunes-viernes

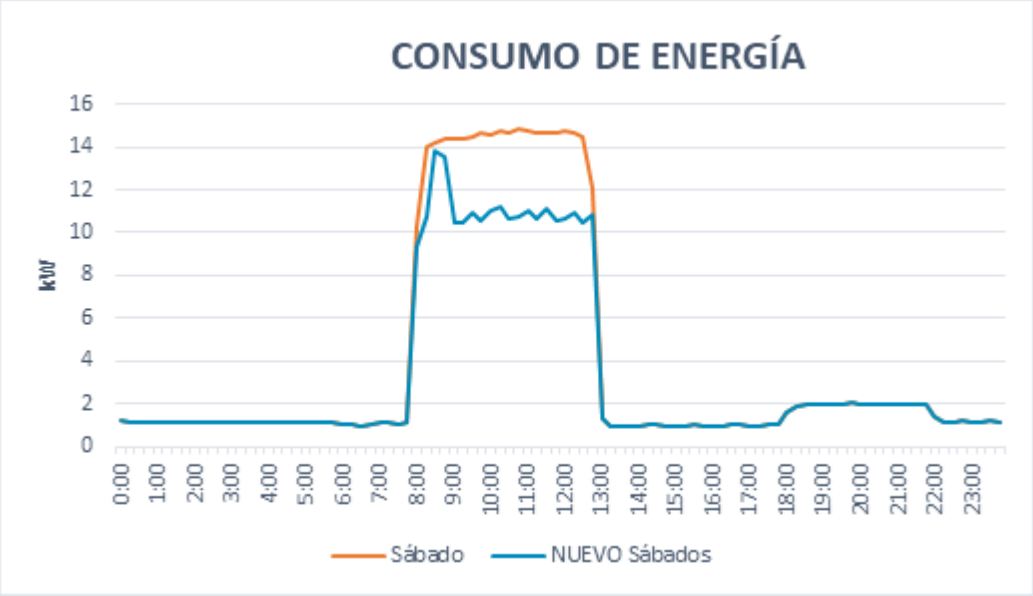


Figura 4.8. Gráfica comparativa por día tipo sábado

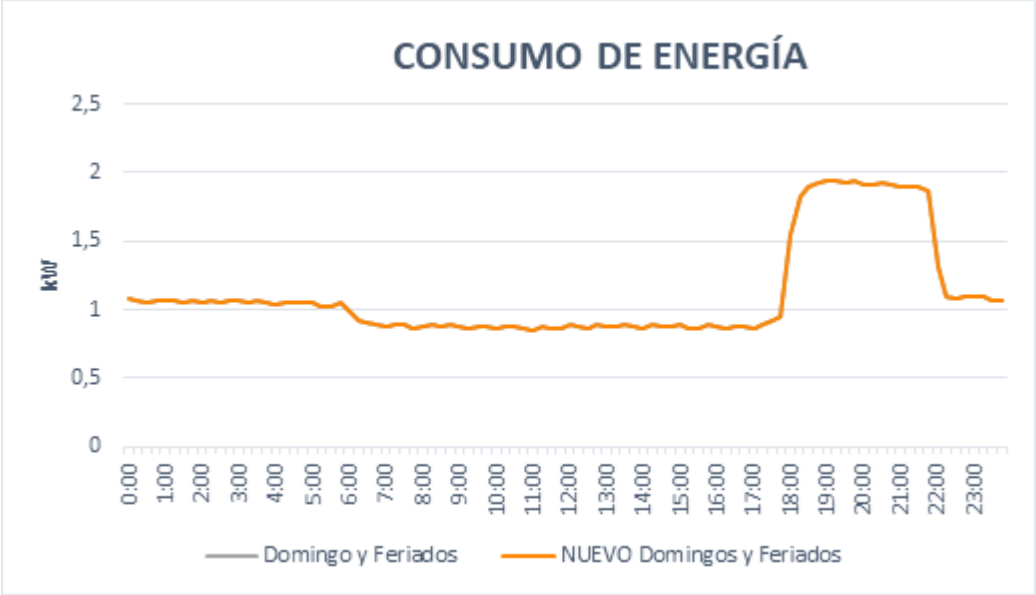


Figura 4.9. Gráfica comparativa por día tipo Domingo y feriados

Este consumo de energía que se ve reflejado en el horario nocturno es debido a circuitos esenciales de fachada, además de equipos de respaldo de energía UPS y que no fueron modificados. El proyecto se enfocó en generar un ahorro de energía en días laborales (lunes a sábado) de los circuitos interiores de iluminación, por tal razón al comparar las curvas de la Figura 4.9 no se observa cambios.

En la Tabla 23, se muestra en resumen el consumo de energía diario de acuerdo con los tres días tipo identificados, estos datos corresponden antes de la implementación del proyecto, con el proyecto implementado y el ahorro de energía logrado.

Tabla 23. Consumo de energía diario antes, después de implementación y ahorrado

Días TIPO	Energía antes de la implementación [kWh]	Energía después de la implementación [kWh]	Ahorro [kWh]
Lunes - Viernes	237,04	191,47	45,57
Sábado	95,31	79,07	16,24
Domingo y feriados	26,70	26,70	0

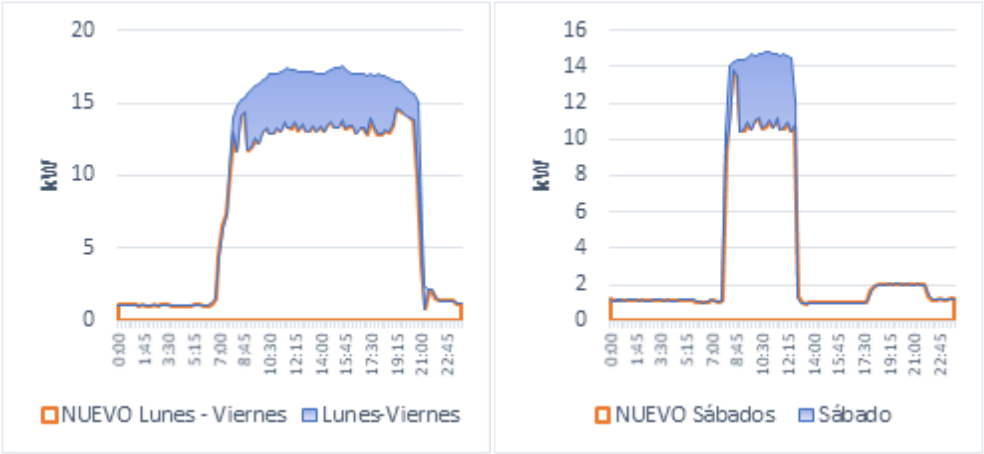


Figura 4.10. Grafica de ahorro de energía de acuerdo con el día tipo

En la Tabla 24 se observa el ahorro de energía tomado como ejemplo el mes de enero 2019.

Tabla 24. Ahorro en energía por días tipo – mes enero 2019

Días TIPO	N Días	Energía (kWh)
Ahorro L-V	22	1002,518
Ahorro Sábado	4	64,964
Ahorro Domingo-Feriados	5	0,00

4.3 Evaluación económica

En esta sección se realiza un análisis económico que toma en cuenta factores tales como la inversión realizada para la consecución de un sistema eficiente de energía. En la Tabla 25 se observa el desglose en detalle de los costos de inversión.

Tabla 25. Inversión del proyecto de iluminación en la biblioteca UPS

Proveedor	Descripción	Valor
CENELSUR	Elaboración de Tableros, implementación del Sistema de medición y comunicación al PLC	$8243,46
ELETROTEL	Sensores digitales	$210,78
TOTAL		$ 8454,24

4.3.1 Facturación sin implementación

Para una estimación de la factura de pago mensual antiguo de toda la universidad, se usó especificaciones del pliego tarifario que la empresa eléctrica proporciona [18]. Con la planilla de toda la universidad emitida por la empresa eléctrica regional CENTROSUR antes de la implementación del proyecto, se encuentra que está catalogada por el tipo de tarifa de ARCONEL como media tensión comercial con demanda horaria (ver Anexo C2).

Con una base de datos se obtuvo el consumo mensual de septiembre 2018 hasta agosto 2019, así se conoció la demanda de energía activa por periodo horario (ver Tabla 26). La demanda máxima por periodo horario (DM) y la energía reactiva total (ver Anexo C3).

Tabla 26. Clasificación de energía activa por horario

Energía activa (08h00-18h00)	Horario A
Energía activa (18h00-22h00)	Horario B
Energía activa (22h00-08h00)	Horario C

Con la energía activa por periodo horario se multiplicó por los cargos tarifarios (ver Tabla 27), donde se obtuvo un valor monetario para cada horario, con la sumatoria de estos tres valores da como resultado un valor por consumo.

Tabla 27. Cargos tarifarios CENTROSUR – Pliego Tarifario 2020[18]

Rango de consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización
Nivel de voltaje	Medio Voltaje con demanda horaria		
	Comerciales		
08:00 hasta 22:00 H	4,576	0,095	1,414
22:00 hasta 08:00 H		0,077	

La demanda pico (DP) es la demanda máxima mensual del consumidor durante las horas de pico de la empresa eléctrica (18h00 a 22h00) esto según el pliego tarifario, lo cual es corroborado por estudios realizados, dentro de los mismos se confirma los horarios de máximo consumo en días laborables[19]. Por otra parte, la demanda máxima (DM) es la demanda máxima mensual del consumidor, esto sirve para calcular el factor de gestión de la demanda (FGDI) [18]

$$FGDI = \begin{cases} 0{,}50 & si\ \frac{DP}{DM} < 0{,}6 \\ 0{,}5833 \times \frac{DP}{DM} + 0{,}4167 \times \left(\frac{DP}{DM}\right)^2 & si\ 0{,}6 \leq \frac{DP}{DM} \leq 0{,}9 \\ 1 & si\ 0{,}9 < \frac{DP}{DM} \leq 1 \end{cases} \quad [1]$$

Para calcular la demanda facturable (DF), es necesario conocer la demanda máxima de los doce anteriores incluido el mes de facturación, este valor se obtiene a través de la siguiente formula.

$$DF = \begin{cases} 60\% \times DM_{max12} & DM < 60\% \times DM_{max12} \\ DM & DM \geq 60\% \times DM_{max12} \end{cases} \quad [2]$$

La demanda facturable (DF) se multiplica por un cargo que es $4,576USD/kW-mes (ver Tabla 27), y por FGDI, de esta manera se obtiene el valor de demanda. El valor de comercialización viene dado por el pliego tarifario, que en este caso es $1,41, (ver Tabla 27).

Un valor que se debe considerar para la factura es el factor por penalización (BFP), pero debido a que el factor de potencia (fp) según la planilla de la empresa eléctrica CENTROSUR es uno, la energía reactiva es baja y el valor de BFP es cero.

Para obtener el subtotal de servicio de energía eléctrica (SE) se deben sumar los rubros económicos de consumo, de demanda, de comercialización y de BFP.

Para el total a cancelar por parte de la institución, se debe sumar al subtotal obtenido anteriormente, valores adicionales como servicio de alumbrado público que corresponde al 18,5% del valor de Servicio Eléctrico, pero con valores correspondientes al pliego Tarifario del año 2014 y recaudación a terceros como aporte a bomberos que según el artículo 32 de la ley de defensa contra incendios estipula que pagaran al cuerpo de bomberos una contribución adicional mensual los usuarios de los servicios de alumbrado eléctrico. Para los medidores destinados al servicio comercial, corresponde al 1,5% del salario básico unificado ($400,00) [20].

Se realizo todos los cálculos antes mencionados y se obtuvo un total a cancelar mensual y anual (ver Anexo C4). En la Tabla 28 y 29 se observa del mes de enero 2019.

Tabla 28. Energía del mes de enero 2019

	Unidad de medida	Enero 2019
Energía act. hor. A (08h00-18h00)	kWh	51371
Energía act. hor. B (18h00-22h00)	kWh	22203
Energía act. hor. C (22h00-08h00)	kWh	19384
Energía reactiva total	kVAR	474
Demanda máx. hor. A (08h00-18h00)	kW	269
Demanda máx. hor. B (18h00-22h00)	kW	303
Demanda máx. hor. C (22h00-08h00)	kW	108
Demanda facturable	kW	303

Tabla 29. Total, SE y APG

	Enero 2019
Valor consumo	$8.482,10
Valor comercialización	$1,41
Valor demanda	$1.386,53
Valor por BFP	
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	$9.870,04
Servicio Alumbrado Público General	$1.262,77
Subtotal Alumbrado Público	$1.262,77
TOTAL, SE Y APG	$11.132,80

4.3.2 Facturación con implementación

En la Tabla 31 se muestra la energía del mes de enero del 2019 una vez implementado el proyecto, tomando en cuenta el calendario que se muestra a continuación.

Tabla 30. Calendario septiembre 2018 - agosto 2019

	Año	L-V	S	D	F	Mes
Septiembre	2018	20	5	5	0	**30**
Octubre	2018	22	4	4	1	**31**
Noviembre	2018	20	3	4	3	**30**
Diciembre	2018	16	4	4	7	**31**
Enero	2019	22	4	4	1	**31**
Febrero	2019	20	4	4	0	**28**
Marzo	2019	19	4	5	3	**31**
Abril	2019	20	4	4	2	**30**
Mayo	2019	22	4	4	1	**31**
Junio	2019	20	5	5	0	**30**
Julio	2019	23	4	4	0	**31**
Agosto	2019	22	4	4	1	**31**
		246	49	51	19	**365**

Tabla 31. Energía mes de enero 2019 con implementación

	Unidad de medida	Enero 2019
Energía act. hor. A (08h00-18h00)	kWh	50500,86
Energía act. hor. B (18h00-22h00)	kWh	22012,28
Energía act. hor. C (22h00-08h00)	kWh	19377,37
Energía reactiva total	kVAR	474
Demanda máx. hor. A (08h00-18h00)	kW	260,76
Demanda máx. hor. B (18h00-22h00)	kW	297,63
Demanda máx. hor. C (22h00-08h00)	kW	106,02
Demanda facturable	kW	297,63

A partir de esto se obtuvo el total a pagar del mes de enero 2019, calculado de la misma manera como se explicó en la sección 1.2.1 (ver Tabla 32).

Tabla 32. Total, SE y APG del mes de enero 2019 con implementación

	Enero 2019
Valor consumo	$8.380,81
Valor comercialización	$1,41
Valor demanda	$1.361,95
Valor por BFP	
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	$9.744,17
Servicio Alumbrado Público General	$1.246,19
Subtotal Alumbrado Público	$1.246,19
TOTAL, SE Y APG	$10.990,36

Se obtuvo el consumo de energía y valores a cancelar de septiembre 2018 hasta agosto 2019 (ver Anexo C5) y se vio reflejado un ahorro en dólares (ver Tabla 33).

Tabla 33. Valores de ahorro mensual y anual

Valor total anual antiguo	$126,470,27
Valor total anual nuevo	$124.846,33
Valor Ahorro anual	$1623,94

4.3.3 Factibilidad económica del proyecto

La factibilidad económica del proyecto se analizará mediante tres parámetros financieros:

- Periodo de retorno de la inversión (PRI)
- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)

Tabla 34. Datos para el análisis de factibilidad

Inversión	Ahorro anual
$ 8454,24	$ 1623,94

En la Tabla 34 se encuentra los valores de la inversión del proyecto, el ahorro mensual y anual en dólares, datos necesarios para el cálculo de factibilidad económica. La tasa de interés se ha considerado según el valor fijado por el Banco Central del Ecuador con el segmento educativo fijado a diciembre de 2020 en 8,84% [21]

Según el manual "S7 Controlador programable S7-1200 Manual de sistema" el PLC S-7200 llega a ser la parte principal del proyecto el cual su vida útil es de 10 años, con este dato se procede con el análisis de factibilidad (ver Tabla 35).

Tabla 35. Análisis de factibilidad del proyecto implementado

Años	**Movimiento de caja**	**Acumulado**
0	$ -8.454,24	$ -8.454,24
1	$ 1.623,94	$ -6.830,30
2	$ 1.623,94	$ -5.206,36
3	$ 1.623,94	$ -3.582,42
4	$ 1.623,94	$ -1.958,48
5	$ 1.623,94	**$ -334,54**
6	$ 1.623,94	**$ 1.289,40**
7	$ 1.623,94	**$ 2.913,34**
8	$ 1.623,94	**$ 4.537,28**
9	$ 1.623,94	**$ 6.161,22**
10	$ 1.623,94	**$ 7.785,16**
PARAMÉTROS		
Tasa de interés		8,84%
PRI		5,21
VAN		$ 2.041,24
TIR		14%

De acuerdo con la Tabla 35 el retorno de inversión se obtiene a los cinco años, pero teniendo en cuenta la vida útil de los equipos que son los diez años, este proyecto es rentable por el valor del VAN obtenido y en concordancia con el TIR del 14% el cual es superior a la tasa de interés.

4.4 Evaluación ambiental

En la Tabla 36 se determina que el ahorro anual alcanza los 18233,95 kWh, con este valor corresponde estimar la reducción de emisiones de dióxido de carbono al ambiente y también lo que esto representa económicamente de acuerdo con dos mercados de carbono.

Tabla 36. Ahorro anual de energía

Ahorro anual	
Horario A	15524,965 kWh
Horario B	2557,355 kWh
Horario C	151,63 kWh
TOTAL	18233,95 kWh

"Los factores de emisión son expresados en gramos o kilogramos de contaminante (CO2, SO2, NOx, partículas, etc.) emitido a la atmósfera por kWh consumido." [22]. El factor de emisión utilizado es de 0.4509 t CO2 /MWh dato extraído del informe del sistema nacional interconectado de 2019 que se considera para proyectos de generación renovable [23].

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es el único que involucra a países en desarrollo, este permite que proyectos de inversión elaborados en países en desarrollo obtengan beneficios económicos extras por la venta de Certificados de Emisiones Reducidas (CER's) [24].

Según la página web SENDECO2 se presenta dos mercados, el CER en 0,244 USD/t CO_2 y el EUA en 27,572 USD/t CO_2 durante el 2019, año que se tomó de referencia para el presente estudio con una tasa de cambio de 1,11 dólares por euro dato de acuerdo con el Banco Central del Ecuador [25][26].

Tabla 37. Análisis ambiental anual

Ahorro Anual	18233,95 kWh
Factor de emisión	0,0004509 t CO2 /kWh
Toneladas CO_2 no emitidas en un año	**8,22 t CO_2**
Costo Tonelada CO_2 CER	0,244 USD/t CO_2
Costo Tonelada CO_2 EUA	27,572 USD/t CO_2
Costo Anual Mercado CER	2,01 USD
Costo Anual Mercado EUA	226,64 USD

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Estudios recientes indican que el aplicar medidas de eficiencia energética produce beneficios perceptibles, esto se ha podido corroborar en varios proyectos. En el Ecuador todavía es considerado un tema nuevo al que se debería prestar más atención y ser impulsado con mayor apoyo por parte de las instituciones reguladoras. En este proyecto se logró confirmar estas ventajas, entre ellas se destaca la disminución de los valores facturados en las planillas debido a la reducción del consumo de energía, confort y la contribución al medio ambiente con el descenso de las emisiones de CO_2.

Una parte esencial del proyecto fue conocer el consumo diario de energía en la biblioteca, esto permitió crear un perfil de consumo por días tipo para conocer el patrón de energía utilizada por los usuarios. Se estableció un punto de referencia para una posterior comparación una vez implementadas las medidas de eficiencia. De la misma, se obtuvo dos perfiles de consumo y se pudo corroborar la factibilidad de implementar este tipo de sistemas, donde se evidenció una mejora en el consumo, es decir, se mejoró la eficiencia energética.

Para definir las medidas de ahorro energético se tomó en cuenta los resultados que se encuentran en el segundo capítulo de este documento, se pudo clasificar e identificar las zonas del edificio adecuadas para la implementación. Las medidas fueron elegidas sin dejar de lado las normas y recomendaciones nacionales para alcanzar el nivel de iluminación recomendado. Una vez implementadas las medidas se pudo verificar a través de mediciones que el nivel de iluminación no se vio afectado. En la mayoría de las áreas se ajustaron dichos niveles conforme a las normativas. Pese a ello, quedaron circuitos (Tabla 22) para implementar futuras mejoras.

Las propuestas para mejorar la eficiencia energética principalmente se establecieron mediante acciones de concientización para disminuir el consumo de energía, es decir, basadas en buenos hábitos y costumbres, estas acciones no representan una inversión económica considerable. Sin embargo, esto requiere tiempo y una constante vigilancia, por este motivo y gracias al avance de la tecnología resultó factible implementar un sistema de control y monitoreo para que las medidas sean gestionadas directamente desde una interfaz gráfica de usuario. De esta manera, se desarrolló un medio de control y monitoreo para que los usuarios puedan realizar acciones sobre los diferentes circuitos y

así dar uso eficiente a la iluminación de los espacios, obteniendo una reducción de energía en días laborables (lunes - viernes y sábados).

Las luminarias led presentan grandes ventajas en cuanto a su vida útil, bajo costo de mantenimiento y altos niveles de eficiencia frente a las lámparas fluorescentes tradicionales y ya obsoletas. Actualmente su bajo costo de comercialización hace posible adquirirlas e implementarlas con facilidad. La implementación de la tecnología de iluminación LED reflejó un ahorro de energía considerable.

Al realizar una evaluación económica se consideró una inversión de $8454.34, la vida útil de los equipos (10 años) y una base de evidencias de ahorro analizado en el periodo septiembre 2018 - agosto 2019. Se obtuvo un plazo de retorno de inversión (PRI) de cinco años, teniendo un valor actual neto (VAN) positivo, en concordancia con la tasa interna de retorno (TIR) del 14% superior a la tasa de interés, lo que indica rentabilidad.

Con los valores de ahorro energético de este proyecto, se cuantificó 8,22 toneladas de CO_2 anuales no emitidas. Llevando esto a un mercado de venta de certificado de emisiones según EUA se obtendrían 226,64 USD al año, según el caso de estudio.

5.2 RECOMENDACIONES

Al finalizar este proyecto se plantean algunos posibles trabajos futuros, así como recomendaciones:

- Reemplazar en su totalidad las luminarias fluorescentes por tecnología LED.
- En los circuitos C11, C13 y C14 de la planta baja se presentan inconvenientes al momento de dar mantenimiento a los paneles LED. Realizar una modificación en cuanto a la ubicación de las luminarias, para que estas sean colgantes y así reducir la altura, además esto permitirá mejorar la iluminación en las áreas previamente mencionadas.
- Restringir el acceso a los espacios destinados como centros de carga del edificio y a los tableros, el ingreso debe ser exclusivo para el personal autorizado, además como medida de prevención sería recomendable colocar acrílicos de protección esto con la finalidad de resguardar al personal.
- La ubicación actual del sensor luxómetro es el centro de carga de la planta dos, en este lugar es necesario colocar un cristal de protección para evitar daños causados por el polvo y la lluvia.
- Se recomienda adaptar una protección para la pantalla del HMI, evitando posibles daños por golpes.
- Tener en cuenta que es posible adherir futuros trabajos gracias a la escalabilidad que permiten los dispositivos de control (PLC’s). Es recomendable ante cualquier obra o trabajo civil considerar que deben ser incluidos en el sistema de iluminación debido a que todo es centralizado.
- Finalmente, es importante que periódicamente el área técnica de la universidad evalúe a los usuarios de la biblioteca para realizar ajustes, por ejemplo, modificación de horarios, tiempos de activación de sensores y niveles mínimos de luminosidad.

BIBLIOGRAFIA

[1] Efficiency valuation organization, “Protocolo Internacional de Medida y Verificación (Conceptos y Opciones para Determinar el Ahorro de Energía y Agua),” *Organization*, vol. 1, p. 134, 2010.

[2] C. Tanides and H. I. Furfaro, “Iluminación eficiente en el sector residencial argentino: evolución y perspectivas futuras,” *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 14, pp. 7–55, 2010.

[3] J. L. Solleiro and A. Herrera, “Conceptos básicos,” *Gestión tecnológica*, vol. 2016, pp. 4–21, 2008.

[4] “HosPilot project - Intelligent Energy Efficiency Control in Hospitals: EPSHP pilot case | Build Up.” https://www.buildup.eu/en/practices/cases/hospilot-project-intelligent-energy-efficiency-control-hospitals-epshp-pilot-case (accessed Jan. 16, 2020).

[5] C. Ciugudeanu, D. Beu, and E. Rastei, “Living Building Laboratory - Educational Building Project in Cluj-Napoca,” in *Energy Procedia*, 2016, vol. 85, pp. 125–131, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.282.

[6] I. Chew, D. Karunatilaka, C. P. Tan, and V. Kalavally, “Smart lighting: The way forward? Reviewing the past to shape the future,” *Energy and Buildings*, vol. 149. Elsevier Ltd, pp. 180–191, Aug. 15, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.083.

[7] CItec UBB, “Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos,” 2012. https://issuu.com/citecubb/docs/manual_de_diseno_pasivo_y_eficiencia_energetica_en/129 (accessed Jan. 16, 2020).

[8] E. Adrian and J. Juca, “Eficiencia energética mediante sistemas scada para el control de la demanda de una residencia,” 2015.

[9] E. DE Torre Suite and M. EL Uso Del, “‘Diseño e implementación de un sistema automatizado de control de iluminación,’” 2018.

[10] R. Jhon and S. Gabriel, “Intelligent Electrical Energy Measurement System in The Tesalia Springs Company S.A.: Implementation and Results Analysis,” 2017.

[11] E. Saavedra, F. J. Rey, and J. Luyo, “Sistemas de iluminación, situación actual y perspectivas,” *Rev. Cient. Tec.*, vol. 26, no. 2, p. 44, Mar. 2017, doi: 10.21754/tecnia.v26i2.57.

[12] Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, “Decreto ejecutivo 2393 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo,” *SESACO*, Apr. 2018. http://www.sesaco.com.ec/wp-content/uploads/2018/04/DECRETO-EJECUTIVO-2393-REGLAMENTO-DE-SST.pdf (accessed Feb. 26, 2021).

[13] Convenio MIDUVI - Cámara de la construcción de Quito, “Norma ecuatoriana de construcción NEC capítulo 15 instalaciones electromecánicas,” 2013.

[14] F. E. Pesántez Pesántez and A. V. Valdez Salamea, “Diseño de un sistema de optimización de energía eléctrica para iluminación en sectores críticos de la Universidad Politécnica Salesiana sede matriz Cuenca,” Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2014.

[15] F. Pesantez-Pesantez, A. Valdez-Salamea, X. Serrano-Guerreo, W. Orozco-Tupacyupanqui, and G. Escriva-Escriva, “A digital control system for Lighting Energy Consumption Efficiency (LECE),” *2017 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2017*, vol. 2017-January, pp. 1–6, Jan. 2017, doi: 10.1109/ROPEC.2017.8261640.

[16] Siemens AG, “Multímetro Sentron Pac3200,” pp. 1–172, 2007.

[17] J. Estrella, “Implementacion de un sistema de medicion inteligente en la Universidad Politecnica Salesiana sede Cuenca,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.

[18] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020,” *Resolución Nro. ARCONEL – 035/19*, 2019. .

[19] J. X. Serrano Guerrero, “Caracterización de la demanda de energía mediante patrones estocásticos en las Redes Eléctricas Inteligentes,” pp. 1–257, 2020.

[20] C. D. B. COMISIÓN DE LEGISLACIÓN, “Ley de Defensa Contra Incendios,” *Registro Oficial*, 2015. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-

content/uploads/downloads/2013/11/LEY-DE-DEFENSA-CONTRA-INCENDIOS.pdf.

[21] Banco Central del ECUADOR, “Evolución de las operaciones activas y pasivas del sistema financiero nacional,” 2020. .

[22] GOIB/, “Sección de atmósfera-Factores de emisión,” 2020. http://www.caib.es/sites/atmosfera/es/factores_de_emision_-58153/ (accessed Mar. 22, 2021).

[23] Ministerio del Ambiente, “Factor de emisión de CO2 del sistema Nacional Interconectado del Ecuador,” *Ministerio del Ambiente*, 2019. www.ambiente.gob.ec.

[24] P. León, E. Tapia, and F. Rodríguez, “Valor económico del almacenamiento de carbono en los páramos de la reserva ecológica del El Angel.,” *Rev. Geospacial*, vol. 14, no. 1, 2017.

[25] Banco central del Ecuador, “Consulta por monedas extranjeras,” *Banco central del Ecuador*. https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/260-consulta-por-monedas-extranjeras (accessed Mar. 22, 2021).

[26] Sendeco2, “Precios CO2 .” https://www.sendeco2.com/es/precios-co2 (accessed Mar. 22, 2021).