

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
ILUMINACIÓN PARA EL SALÓN 216B DEL EDIFICIO DE AULAS Y  
RELACIÓN CON EL MEDIO EXTERNO (EARME) DE LA EPN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN “ELECTRÓNICA Y CONTROL”**

**BRYAN JASON RUALES GAVILANES**

**DIRECTOR: DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA**

**Quito, noviembre 2019**

## **AVAL**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Bryan Jason Ruales Gavilanes, bajo mi supervisión.

---

**Dr. Geovanny Danilo Chávez García**  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Bryan Jason Ruales Gavilanes, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

---

Bryan Jason Ruales Gavilanes

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a mis padres, que con su infinito apoyo lograron a pesar de las adversidades de la vida brindarme uno de los bienes más preciados, la educación.

Dedicado también a todas y cada una de las personas que estuvieron en este largo caminar, compartiendo momentos de aprendizaje, de amistad y de vida.

*Bryan Ruales*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecido con Dios principalmente, por la fortaleza brindada para completar esta anhelada meta.

A mis padres, hermanos y hermanas por ser siempre apoyo e inspiración en cada momento de este caminar.

A los miembros del programa INÉDITA que desarrollan el proyecto” Diseño e Implementación de un Modelo Inclusivo de Admisión para el Sistema de Educación Superior en el Ecuador.”, por permitirme realizar mi proyecto de titulación en su espacio de trabajo, y en especial a su Director el Ing. Tarquino Sánchez.

Al Dr. Danilo Chávez, director del proyecto por ser él quien impulsó la idea de este proyecto de titulación enfocado en los Salones de aula de clases inteligentes.

El Proyecto es una plataforma abierta para que se pueda realizar futuros avances y mejoras del sistema cuando las necesidades lo requieran.

*Bryan Ruales*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	X
ABSTRACT .....	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS .....	1
1.2 ALCANCE .....	2
1.3 MARCO TEÓRICO.....	3
1.3.1 CONTROL DE ILUMINACIÓN ENFOCADO EN EL SER HUMANO.....	4
1.3.1.1 La iluminación y el bienestar humano .....	4
1.3.1.2 Control de Iluminación Circadiana.....	5
1.3.2 EL CONTROL DE ILUMINACIÓN EN EL AMBIENTE ESCOLAR.....	6
1.3.2.1 Oportunidades de eficiencia energética en el ambiente educativo .....	7
1.3.2.2 Factores para el diseño de salones educativos.....	7
1.3.2.3 Importancia de la iluminación en el ambiente educativo.....	8
1.3.3 TÉCNICAS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN .....	8
1.3.3.1 Objetivos del sistema de control de iluminación .....	9
1.3.3.2 Control de Iluminación en diferentes actividades .....	10
1.3.4 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE ILUMINACIÓN.....	11
1.3.4.1 Iluminancia o nivel de iluminación .....	11
1.3.4.2 Flujo luminoso.....	12
1.3.4.3 Eficacia luminosa .....	13

1.3.4.4	Intensidad luminosa .....	13
1.3.4.5	Temperatura de color .....	13
1.3.4.6	Luminancia.....	14
1.3.4.7	Contraste k.....	15
1.3.4.8	Uniformidad.....	15
1.3.4.9	Índice de reproducción cromática (CRI) .....	15
1.3.4.10	Parámetros de iluminación recomendados .....	16
1.3.5	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ILUMINACIÓN .....	17
1.3.6	SENSORES.....	18
1.3.6.1	Sensores biométricos.....	18
1.3.6.2	Sensores de presencia y movimiento.....	19
1.3.6.3	Sensores de luz natural.....	20
1.3.7	MICROCONTROLADORES AVR .....	22
1.3.8	PANTALLA TÁCTIL TFT.....	23
1.3.9	TECNOLOGÍA DE LÁMPARAS DE ILUMINACIÓN GENERAL .....	24
1.3.9.1	Diferencia entre luminaria LED y un retrofit de LED .....	25
1.3.9.2	Drivers .....	26
1.3.10	TIPOS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN .....	28
1.3.10.1	Conmutación suave / Control ON/OFF Tradicional .....	28
1.3.10.2	ON/OFF Conmutación Suave .....	29
1.3.10.3	Dimerización por Fase.....	29
1.3.10.4	Control de Fase .....	32
1.3.10.5	Protocolo de comunicación digital de iluminación DALI .....	33
1.3.11	AMBIENTES INTELIGENTES .....	37
1.3.11.1	La iluminación como parte de los ambientes inteligentes .....	38
1.3.11.2	Necesidad de automatizar la iluminación.....	38
1.3.12	ARQUITECTURAS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN .....	39
1.3.12.1	Control independiente.....	39
1.3.12.2	Control centralizado.....	39

1.3.12.3	Control distribuido en Red .....	40
1.3.13	LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS .....	40
1.3.14	DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE ILUMINACIÓN.....	44
2	METODOLOGÍA.....	45
2.1	DISEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	45
2.1.1	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA .....	45
2.1.2	ESPECIFICACIÓN DE LUMINARIAS.....	46
2.1.2.1	LUMINARIAS AULA DE CLASES .....	46
2.1.2.1.1	Paneles Led .....	46
2.1.2.1.2	Dicroicos Led.....	49
2.1.2.2	LUMINARIAS LABORATORIO.....	49
2.1.2.3	LUMINARIAS SALA DE REUNIONES .....	51
2.1.3	CONEXIONES ELÉCTRICAS LUMINARIAS .....	52
2.1.3.1	CONEXIÓN ELÉCTRICA LUMINARIAS AULA DE CLASES .....	53
2.1.3.1.1	Paneles led con control DALI .....	53
2.1.3.1.2	Dicroicos led con control CHOPPER .....	53
2.1.3.2	CONEXIÓN ELÉCTRICA LUMINARIAS LABORATORIO .....	54
2.1.3.2.1	Paneles led con control ON/OFF .....	54
2.1.3.3	CONEXIÓN ELÉCTRICA LUMINARIAS SALA DE REUNIONES.....	54
2.2	DISEÑO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA .....	55
2.2.1	DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL .....	55
2.2.1.1	CONTROLADORES DE CARGA .....	56
2.2.1.2	SENSORES DE MOVIMIENTO .....	56
2.2.1.3	SENSORES DE LUMINOSIDAD.....	57
2.2.1.4	CONTROLES PERSONALES.....	57
2.2.2	UBICACIÓN EQUIPOS DE CONTROL .....	57
2.2.3	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	58
2.2.3.1	ESTRATEGIAS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ENFOCADAS AL AHORRO ENERGÉTICO .....	58
2.2.4	DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA .....	59



2.2.5	CONEXIONES TARJETAS DE CONTROL DEL SISTEMA .....	61
2.2.5.1	CONEXIONES DISPOSITIVOS DE CONTROL .....	62
2.2.6	DISEÑO TARJETAS DE CONTROL DEL SISTEMA .....	63
2.2.6.1	DISEÑO TARJETA DE CONTROL GENÉRICA.....	64
2.2.6.1.1	Fuente de alimentación .....	66
2.2.6.1.2	Direccionamiento tarjetas de control.....	66
2.2.6.1.3	Conector USB .....	67
2.2.6.1.4	Convertor RS-485 para comunicación .....	68
2.2.6.1.5	Cristal Externo microcontrolador.....	68
2.2.6.1.6	Microcontrolador ATxmega64A4U.....	69
2.2.6.2	DISEÑO TARJETA DE CONTROL POR FASE .....	70
2.2.6.3	DISEÑO TARJETA DE CONTROL POR CHOPPER .....	71
2.2.6.4	DISEÑO TARJETA DE CONTROL PARA PROTOCOLO DALI .....	72
2.2.6.5	DISEÑO DE TARJETA CONTROL ON/OFF .....	75
2.2.6.6	DISEÑO Y CONEXIÓN SENSORES DE MOVIMIENTO .....	75
2.2.6.7	DISEÑO Y CONEXIÓN SENSORES DE LUMINOSIDAD .....	77
2.2.6.8	DISEÑO Y CONEXIÓN SENSOR BIOMÉTRICO.....	78
2.2.6.9	DISEÑO Y CONEXIÓN PANTALLAS TFT .....	80
2.3	COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	85
2.3.1	PROTOCOLO RS-485.....	85
2.3.2	CABLES DE TRANSMISIÓN.....	86
2.3.3	COMUNICACIÓN RS485 .....	86
2.3.4	MÓDULO DE COMUNICACIÓN RS-485 – USB.....	87
2.3.5	CHEQUEO DE ERRORES Y CÁLCULO DEL CRC.....	87
2.4	PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL .....	88
2.4.1	DIAGRAMAS DE FLUJO .....	88
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	95
3.1	COMPARATIVO DE LUMINARIAS CON SISTEMA EFICIENTE.....	95
3.1.1	ILUMINACIÓN GENERAL .....	96

3.1.2	ILUMINACIÓN DIRIGIDA .....	96
3.1.3	CONTROL DE ILUMINACIÓN.....	97
3.2	PRUEBA DE CARGA INSTALADA.....	98
3.3	PRUEBAS REALIZADAS CON EL SISTEMA DE CONTROL Y LUMINARIAS .....	99
3.3.1	MEDICIÓN DE NIVELES DE ILUMINACION.....	100
3.3.2	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE ESCENAS.....	102
3.3.2.1	FUNCIONAMIENTO MODO AUTOMÁTICO .....	102
3.3.2.2	FUNCIONAMIENTO MODO MANUAL.....	103
3.4	COMUNICACIÓN CON MÓDULO BLUETOOTH HC-05.....	106
3.5	AHORRO GENERADO POR EL SISTEMA DE CONTROL.....	107
3.5.1	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA EFICIENTE .....	110
3.5.2	PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.....	113
3.5.3	ANÁLISIS DEL COSTO-BENEFICIO.....	114
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
4.1	CONCLUSIONES.....	116
4.2	RECOMENDACIONES .....	118
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119
	ANEXOS .....	123

## RESUMEN

Los sistemas de control de iluminación, son sistemas que nos permiten adaptar la iluminación de los espacios a diversas situaciones, con la finalidad de realizar un ahorro en el consumo de energía eléctrica y mejorar el confort de las personas [1]. El presente estudio consta de cuatro capítulos donde se aplica un sistema de control de iluminación en uno de los salones del edificio de aulas y relación con el medio externo EARME de La EPN, el cual se lo distribuyó en 3 espacios dónde se realizan distintas actividades, por lo cual los requerimientos de iluminación también son distintos.

En el capítulo uno se presentan los objetivos, alcance, criterio de selección y conceptos generales de los principales elementos utilizados, explicación del sistema de control de iluminación diseñado para cada uno de los espacios del salón.

En el capítulo dos se describe el diseño de los diferentes elementos por los cuales está constituido el sistema como el controlador por fase y un protocolo de comunicación digital, así como el empleo de los sensores y pantallas empleadas en el proyecto, además del sistema de comunicación entre todos los dispositivos. También, se explica los cálculos realizados para el diseño de los sistemas de manera general, así como los algoritmos implementados para dar las acciones lógicas que comandarán al equipo. En el capítulo tres se presenta en detalle la constitución del equipo operativo con sus respectivas pruebas de funcionamiento, y así como validar el ahorro energético generado con el sistema. Finalmente, en el capítulo cuatro se describe las experiencias obtenidas a lo largo del trabajo, presentado a través de conclusiones y recomendaciones.

**PALABRAS CLAVE:** ambientes inteligentes, eficiencia, led, driver, control de iluminación, dimerización, DALI

## **ABSTRACT**

The lighting control systems are systems that allow us to adapt the lighting of the spaces to various situations, with the purpose of saving energy consumption and improving the comfort of people [1]. The present study consists of four chapters where a lighting control system is applied in one of the rooms of the classroom building and relationship with the external environment EARME of The EPN, which was distributed in 3 spaces where different activities are carried out, Therefore, the lighting requirements are also different.

Chapter one presents the objectives, scope, selection criteria and general concepts of the main elements used, explanation of the lighting control system designed for each of the spaces in the room.

Chapter two describes the design of the different elements by which the system is constituted as the controller by phase and a digital communication protocol, as well as the use of the sensors and screens used in the project, in addition to the communication system. Also, the calculations made for the design of the systems are explained in general, as well as the algorithms implemented to give the logical actions that will command the team. Chapter three presents in detail the constitution of the operating team with their respective functional tests, as well as validating the energy savings generated with the system. Finally, chapter four describes the experiences obtained throughout the work, presented through conclusions and recommendations.

**KEYWORDS:** intelligent environments, efficiency, led, driver, lighting control, dimerization, DALI

# 1 INTRODUCCIÓN

La iluminación es de vital importancia para realizar cualquier actividad, ya que mediante una iluminación adecuada se puede evitar accidentes, mejorar el rendimiento de aprendizaje y generar un espacio de trabajo más cómodo. Por lo general, el ser humano posee una gran habilidad para adaptarse a las distintas calidades lumínicas. Sin embargo, una deficiencia de esta provocaría una alta posibilidad de que las personas cometan errores durante alguna actividad o tener a futuro daños en la salud mediante la aparición de síntomas como fatiga ocular, cansancio, irritabilidad, entre otros [1].

Para tener una iluminación adecuada se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones: los niveles de iluminación del área basados mediante normas, la luz natural o proveniente del sol en los distintos horarios (mañana, tarde y noche), considerar el nivel de iluminación acorde a la actividad establecida y que esta a su vez no cause deslumbramiento hacia las personas [2]. La eficiencia energética del área de trabajo es otra de las características que se debe considerar cuando se tiene amplios espacios. Por lo tanto, se necesita realizar un sistema de control de iluminación que permita obtener una mejoría en el consumo energético y considere todas las características lumínicas para el confort de las personas. [3]

En el presente trabajo se realiza un control de iluminación con el propósito de tener una iluminación adecuada en los diferentes ambientes de trabajo. Para ello, se diseña e implementa un sistema de control de iluminación adecuado en el salón 216B del EARME de la Escuela Politécnica Nacional, donde se desarrolla uno de los proyectos de la EPN ganadores del Programa Inédita, “Diseño e Implementación de un Modelo Inclusivo de Admisión para el Sistema de Educación Superior en el Ecuador.” Este salón se lo ha dividido tanto física como funcionalmente en 3 espacios de trabajo: un aula de clases, un laboratorio y una sala de reuniones, por lo que este sistema de control conllevará tres zonas de iluminación con distintos requerimientos, además del uso de sensores, controladores y actuadores.

## 1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto es: Diseñar e implementar un sistema de control de iluminación para el salón 216B del Edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo (EARME) de la EPN.

Los objetivos específicos de este Proyecto son:

- Realizar una revisión bibliográfica acerca de los niveles de iluminación adecuados para cada una de las áreas de trabajo a emplear: aula de clases, laboratorio y sala de reuniones.
- Realizar una revisión de los circuitos eléctricos de iluminación y una medición del consumo energético que se dispone actualmente en el salón 216B del EARME, y realizar modificaciones tanto en los circuitos de iluminación y luminarias que se requiera para realizar el control de iluminación de las tres áreas de trabajo distintas dentro del mismo salón.
- Diseñar el sistema de control y potencia para el sistema de control de iluminación del salón 216B, además de realizar la programación mediante el uso de microcontroladores AVR, sensores de movimiento y de luz natural.
- Implementar un control central del sistema mediante una pantalla TFT, en la que se puede seleccionar determinadas escenas de iluminación para cada área de trabajo, y permita mediante un sensor dactilar biométrico acceder a las funciones de la pantalla o generar una escena en base a la detección del usuario.
- Realizar pruebas experimentales básicas que evidencien las ventajas del sistema de control de iluminación dentro del aula 216B del EARME y el ahorro energético generado.

## **1.2 ALCANCE**

- Se realizará una revisión de los circuitos de iluminación que se dispone actualmente en el salón 216B del EARME, y se modificará tanto luminarias con sus transformadores como las conexiones eléctricas que se necesiten para que el sistema de control de iluminación pueda tener diferentes escenas en los 3 espacios del salón 216B: aula de clases, laboratorio y sala de reuniones.
- Se realizarán mediciones iniciales del consumo eléctrico actual del aula, para evidenciar el ahorro energético presentado con la implementación del sistema de control de iluminación.
- Se diseñará e implementará los circuitos de control y potencia para el funcionamiento del sistema de control de iluminación del salón 216B, se empleará un microcontrolador de AVR para el desarrollo del programa de control del sistema de iluminación.
- Se realizará tres tipos de control de iluminación, que son: control on/off mediante relés, dimerización por fase enviando señales desde el microcontrolador y dimerización mediante el protocolo de comunicación digital de iluminación DALI (Digital Addressable Lighting).

- Se dispondrá de un control central mediante una pantalla TFT, en la que se pueda seleccionar el nivel iluminación de las luminarias en cada una de las 3 áreas de trabajo.
- Se empleará un sensor dactilar biométrico para que mínimo 5 usuarios del salón 216B sean registrados y con ello determinar un tipo de escena de iluminación preestablecido de acuerdo a sus requerimientos.
- Se empleará un sensor de movimiento en cada uno de los 3 espacios de trabajo, y sensores de detección de luz natural para atenuar las luminarias dimerizables en los espacios que cuente con un nivel de iluminación adecuado para la actividad a realizar, y en caso de que no se encuentre nadie en ese espacio se desactive el circuito correspondiente.
- Se desarrollará un archivo ejecutable para que en el caso que se requiera poder modificar los usuarios ya establecidos o cambiar los niveles establecidos para los mismos.
- Se realizará pruebas de funcionamiento del sistema en cada uno de los espacios, comprobando que se pueda generar escenas a través de la pantalla TFT o mediante el empleo del sensor biométrico de los usuarios creados, verificando que el sistema apague los circuitos cuando no haya presencia de los usuarios y los encienda en caso contrario, además de comprobar que se atenúen las luminarias cuando el sensor de luz día detecte cierta cantidad de iluminación natural, que permita que el espacio este en los niveles de iluminación adecuados para esa actividad, lo cual se lo comprobará mediante la medición con un luxómetro.

### **1.3 MARCO TEÓRICO**

La presente sección describe los conceptos básicos y el levantamiento de información necesaria del salón 216B del EARME de acuerdo a las actividades que se van a desarrollar en cada uno de los espacios de la misma. Se detallan los dispositivos y software necesarios, las técnicas de control de iluminación implementada y su funcionamiento.

Se enfoca en presentar también los factores que se deben considerar para el diseño de la instalación en el salón 216B son: las actividades a realizarse en el cada espacio de trabajo y los niveles de flujo luminoso que se requiere para de esta forma especificar las luminarias adecuadas, la temperatura de color para las luminarias, reproducción cromática y el tipo de atenuación que se puede realizar con las mismas para el desarrollo del sistema de control.

### 1.3.1 CONTROL DE ILUMINACIÓN ENFOCADO EN EL SER HUMANO

Actualmente, el reto del diseño de control de iluminación es permitirnos la manipulación de la luz con los objetivos de:

- Mejorar el bienestar humano.
- Hacer el uso correcto de los espacios.
- Eficiencia Energética.

#### 1.3.1.1 La iluminación y el bienestar humano

El desempeño humano de una determinada actividad se fundamenta en tres sistemas:

- Sistema Visual.
- Sistema Perceptual.
- Sistema Circadiano.

La Luz es considerada un sincronizador natural de nuestro ritmo de vida, es protagonista de nuestro bienestar. Una desincronización del ciclo de luz-oscuridad genera posibles trastornos.

En la noche el reloj está desincronizado por lo que resulta muy importante un buen diseño de iluminación que permita la regeneración celular y orgánica para el bienestar de las personas.

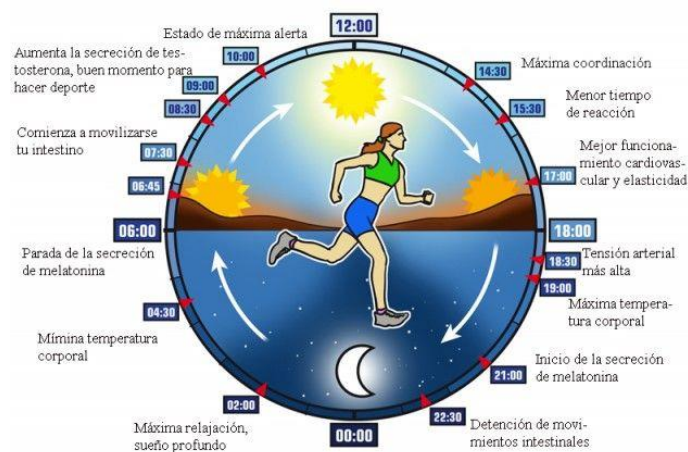


Figura 1.1. Control de iluminación en nuestro ciclo de vida [16]



### 1.3.1.2 Control de Iluminación Circadiana

El sistema circadiano se compone por un grupo de estructuras que producen, sincronizan y permiten la coordinación del ritmo de sueño de los seres humanos tanto interna como externamente con el ambiente. [16]

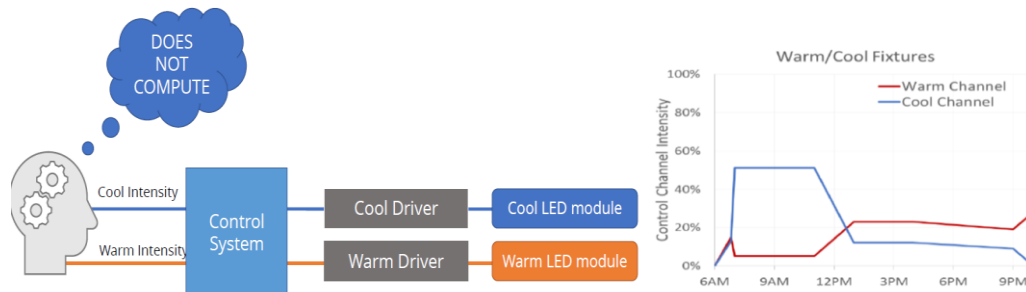


Figura 1.2. Control del sistema circadiano [16]

Los diversos ciclos del día permiten que el cuerpo segregue una serie de sustancias como la melatonina, estas sustancias actúan durante los ciclos de sueño.

La descoordinación de los relojes circadianos influye directamente para que se produzca una incidencia en trastornos alimenticios, generar depresión e incluso problemas graves en la salud como el cáncer de mama y el cáncer de próstata.

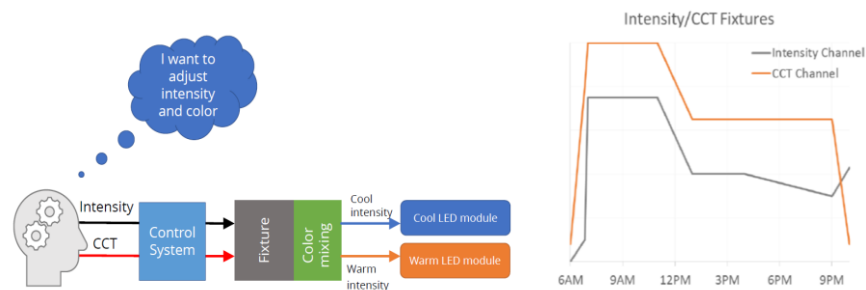
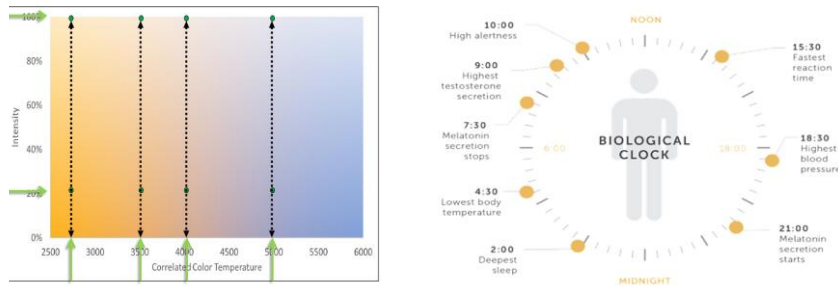


Figura 1.3. Ajuste de intensidad y color del sistema circadiano [16]

Cuando se tiene un espacio donde los trabajadores perciben una gran cantidad de iluminación diseñada para estimular el ritmo circadiano, experimentan un mejor sueño y menores niveles de depresión y estrés, en comparación con aquellos que trabajan en un ambiente poco iluminado. [16]

Incluso en oficinas abiertas con amplios ventanales, puede que los trabajadores no reciban la suficiente luz como para estimular el ritmo circadiano durante la jornada laboral. Esto puede ser debido a múltiples factores como la época del año, la nubosidad, la orientación del escritorio o la posición de las persianas.

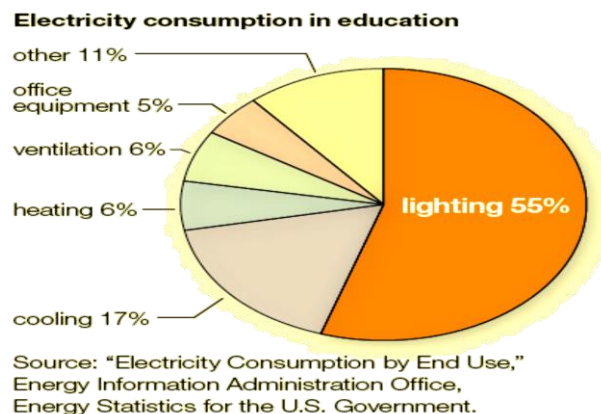


**Figura 1.4.** Estimulación ciclo circadiano con reloj biológico [16]

El sistema circadiano mantiene a las personas sincronizadas con los patrones de luz y oscuridad durante las 24 horas del día, al regular los ciclos biológicos internos que se repiten a diario, como la digestión, la liberación de hormonas, el control de la temperatura corporal central y el momento de alerta y somnolencia. Los patrones de luz y oscuridad recibidos por nuestros ojos son el principal sincronizador del reloj que controla el sistema circadiano con nuestra posición local en la Tierra. [16]

### 1.3.2 EL CONTROL DE ILUMINACIÓN EN EL AMBIENTE ESCOLAR

El ambiente escolar se puede comparar con las condiciones propicias para el crecimiento de una planta de flores en el jardín. Si las condiciones son buenas la planta crecerá saludable, el crecimiento será fuerte, la cosecha será abundante. Si las condiciones son peores que lo que es ideal, la planta será escuálida y de mala calidad. Del mismo modo el entorno escolar influye en la enseñanza y el aprendizaje. [16]



**Figura 1.5.** Consumo de electricidad en educación [16]

Como se puede apreciar en la Figura 1.5, el consumo de electricidad en iluminación representa más de la mitad del consumo total de energía.

### 1.3.2.1 Oportunidades de eficiencia energética en el ambiente educativo

- Administración Del Campus.
- Salones de Clase.
- Biblioteca.
- Auditorios.
- Zonas Comunes.
- Zonas deportivas y exteriores.
- Baños.
- Oficinas y área administrativa.
- Salones Especiales multimedia.
- Laboratorios



Figura 1.6. Espacios por controlar la iluminación en ambiente escolar [16]

### 1.3.2.2 Factores para el diseño de salones educativos

Al diseñar salones educativos es necesario considerar el área y su distribución como elementos claves para el desarrollo del aprendizaje.

Es necesario incorporar estándares de innovación y criterios de sustentabilidad para el mejoramiento de los niveles educativos.

Entre los factores a que influyen en el ambiente de trabajo escolar se encuentran:

#### Luminosidad

Un salón de clases debe contar con un buen nivel de iluminación, considerando tanto la luz artificial proveniente de luminarias, así como la luz natural incidente desde las ventanas. La iluminación puede influir en los estados anímicos y procesos de atención de los estudiantes. Se debe también cuidar que la iluminación no sea un ente distractor del espacio de trabajo.

## **Resonancia**

Los espacios de trabajo tienen que ser lugares en los que no sea necesario subir el tono de voz para poder ser escuchados, deben contar con materiales apropiados para que se pueda oír sin dificultad en los distintos puestos del aula y que también reduzca los ruidos exteriores.

## **Confort Térmico**

Los espacios educativos deben contar con una regulación adecuada de la temperatura, que permita tener espacios de ventilación de la misma cuando se tenga elevadas temperaturas y a su vez permita conservar el calor cuando haga frío.

## **Espacio dinámico**

El espacio de trabajo debe ser adecuado al tipo de actividad que se vaya a realizar y considerando que no será la única, debe tomar en cuenta futuras ampliaciones o mejoras del lugar de trabajo y sobre todo ser cómodo y agradable para el aprendizaje.

## **Seguridad**

Los salones educativos deben contar con medidas de seguridad mínimas para salvar y guardar la integridad de los usuarios del espacio. Esta debería contar con salidas de emergencia identificadas claramente, control de accesos y detectores de humo.

### **1.3.2.3 Importancia de la iluminación en el ambiente educativo**

- La calidad de la luz es más importante que su cantidad.
- La cantidad de luz depende de la actividad en el espacio.
- La iluminancia en un espacio de trabajo debe ser igual o superior a la iluminancia de todo el ambiente visual.
- Evitar deslumbramiento. Daño macular en los niños.
- Control de contrastes: Rendimiento VS Eliminación de sombras.
- Efecto de la luz natural.

### **1.3.3 TÉCNICAS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN**

El primer paso es entender que es un sistema de control de iluminación.

**Control de iluminación:** Se entiende por control de iluminación a la capacidad que tiene un

sistema o dispositivo de regular, detectar y controlar el nivel y calidad de iluminación en un área determinada.

Para poder lograr obtener un más completo control de iluminación es necesario considerar varios factores:

- **Dimerización**

A través de la regulación, los ocupantes de un espacio pueden regular la intensidad de luz de las luminarias para adaptarse a tareas específicas, estados de ánimo o situaciones. Aparte de que se reduce con esto el consumo energético, se puede lograr una mejor experiencia en el usuario al tener los niveles de iluminación que requiere.

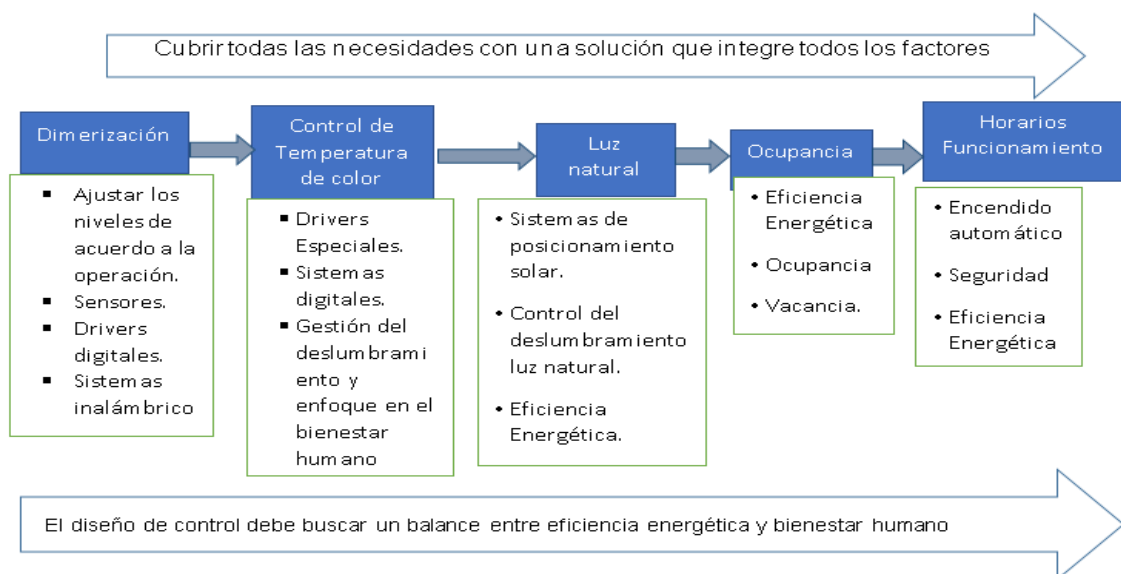
- **Luz Dinámica**

El color de la luz tiene un impacto significativo en la estética de un espacio y en el confort. La iluminación LED se puede ajustar usando las estrategias de iluminación dinámica. Los sistemas de control de iluminación pueden controlar la iluminación dinámica, de forma automática o manual ajustando el color de la luz LED para crear el ambiente perfecto para cualquier espacio interior.

- **Luz Natural**

La regulación de la cantidad de luz en base a la iluminación que natural que entra a un espacio permite el equilibrio entre las dos fuentes de iluminación para que se aumente el ahorro y eficiencia energética.

### 1.3.3.1 Objetivos del sistema de control de iluminación



**Figura 1.7.** Objetivos de un Sistema de Control de iluminación

### 1.3.3.2 Control de Iluminación en diferentes actividades

Los centros educativos están destinados a realizar distintas actividades, debido a las distintas carreras, materias o requerimientos de los profesores. En algunos casos se puede contar con espacios en los cuales durante el día pueden funcionar como espacio para audiovisuales y en la tarde para eventos culturales. Los requerimientos de iluminación de cada actividad son distintos ya que las disposiciones del espacio también requieren un manejo distinto de la iluminación.

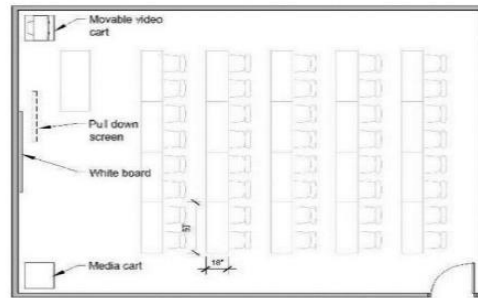


Figura 1.8. Control de iluminación en Aulas de Clases [16]

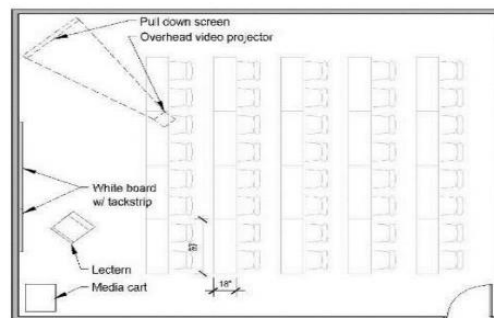


Figura 1.9. Control de iluminación durante Presentaciones [16]

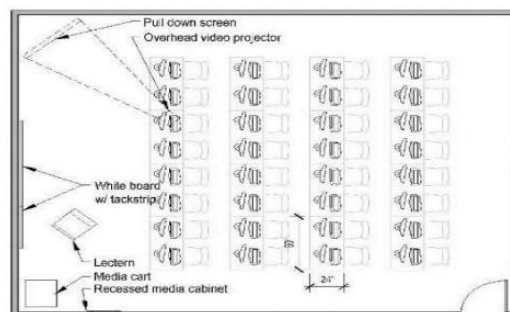
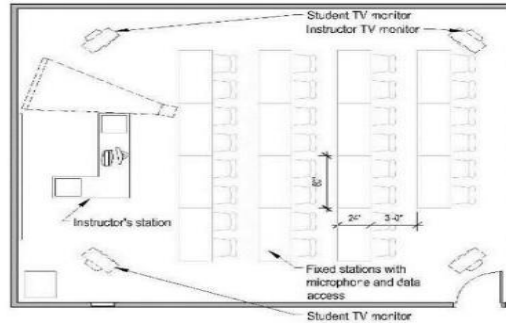


Figura 1.10. Control de iluminación durante Clases de Computación [16]



**Figura 1.11.** Control de iluminación durante Video Conferencias [16]

### 1.3.4 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE ILUMINACIÓN

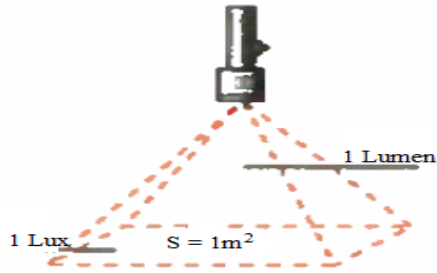
Entre los principales conceptos técnicos a tener en cuenta en el diseño están:

- ✓ Calidad de la luz.
- ✓ Nivel de Iluminación.
- ✓ Uniformidad.
- ✓ Control de deslumbramiento
- ✓ Luz natural y artificial.
- ✓ Densidad energética.
- ✓ Impacto térmico.
- ✓ Control Solar IR y UV.
- ✓ Iluminación Circadiana.

#### 1.3.4.1 Iluminancia o nivel de iluminación

La iluminancia se entiende por la relación que existe entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie, visto en la Ecuación 1.1. La unidad de medida de la iluminación “E” es el lux, el flujo luminoso “ $\phi$ ” se mide en lúmenes y la superficie se indica en metros cuadrados “ $m^2$ ” [7].

$$E = \frac{\phi}{S} \left( \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \text{ ó lx} \right) \quad (1.1)$$



**Figura 1.12.** Iluminancia [7]

La medición de iluminación se realiza mediante un luxómetro, el cual consiste en una célula fotoeléctrica capaz de generar una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre la superficie [7]. Sin el nivel de iluminación adecuado en una superficie, ninguna tarea visual puede ser desarrollada de forma correcta, rápida y segura; por lo que es primordial tener en cuenta los valores mínimos de iluminación para ciertas áreas de trabajo mediante la norma ecuatoriana de construcción NEC capítulo 15 “Instalaciones Electromecánicas”. Como se observa en la Tabla 1.1, la mayor parte de los espacios de trabajo poseen una iluminación de 300 luxes a excepción de una sala de dibujo, la cual requiere un iluminación mayor debido a que necesita una gran concentración visual; por lo tanto, si se desea utilizar para fines de laboratorio se puede optar por esta área de trabajo [8].

**Tabla 1.1.** Niveles mínimos de iluminación recomendados [8]

Tipo	Nivel mínimo de iluminación	
Área de trabajo	300	Luxes
Oficinas	300	Luxes
Salas de dibujo	600	Luxes
Salas de clase	300	Luxes

El nivel de iluminancia se encuentra en función de:

- El tipo de tarea y actividad a realizar
- Las condiciones medio ambientales
- Duración de la actividad

#### 1.3.4.2 Flujo luminoso

Se entiende como flujo luminoso a la cantidad de luz radiada en todas las direcciones, es decir, es una medida de potencia total percibida, visto en la Figura 1.8 [9]





**Figura 1.13.** Flujo luminoso [9]

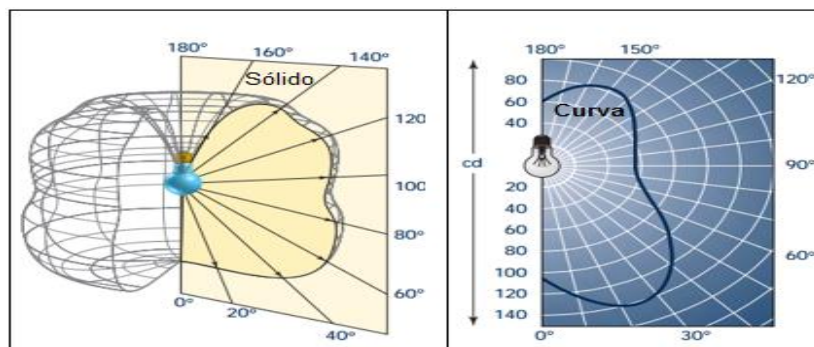
### 1.3.4.3 Eficacia luminosa

La eficacia luminosa nos indica el flujo luminoso que emite una determinada fuente de luz por cada vatio empleado. expresada en lúmenes/vatio, visto en la Ecuación 1.2 [9].

$$\text{Eficacia luminosa} = \frac{\phi}{\text{Potencia}} \left( \frac{\text{lm}}{\text{W}} \right) \quad (1.2)$$

### 1.3.4.4 Intensidad luminosa

Se entiende como el flujo luminoso emitido en una dirección particular por unidad de ángulo sólido. Esta intensidad se define como un conjunto de vectores, el cual forma un sólido fotométrico. Al hacer pasar el sólido fotométrico por el eje de simetría, se obtiene una curva fotométrica de la fuente de luz [10].



**Figura 1.14.** Intensidad luminosa y curva fotométrica [10]

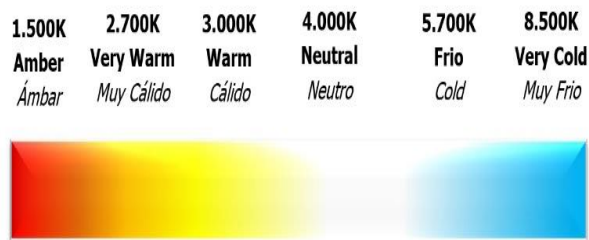
### 1.3.4.5 Temperatura de color

La temperatura de color también representa un factor importante al momento de desarrollar el diseño de iluminación de un espacio. La temperatura de color es una característica que nos ayuda a definir entre tonos cálidos y fríos en iluminación. Este factor se mide en grados kelvin y conforme aumente la temperatura de color se tiene tonos más fríos. La temperatura base para la medición de un espacio son los 300 grados Kelvin que es la temperatura más similar a la del sol. Los tonos

cálidos como el rojo amarillo proporcionan ambientes de trabajo más sociables y relajados. Los tonos llamados fríos son de color blanco azulado.

Se ha notado que esta característica puede influir en el comportamiento de los alumnos y en su rendimiento escolar.

Para aulas, de clase se recomiendan temperaturas de color comprendidas entre 3000 y 4000 grados Kelvin.



**Figura 1.15.** Rango de temperaturas de color [10]

Las temperaturas de color de las luminarias a emplear van a variar debido a que se cuenta con espacios de trabajo diferentes.

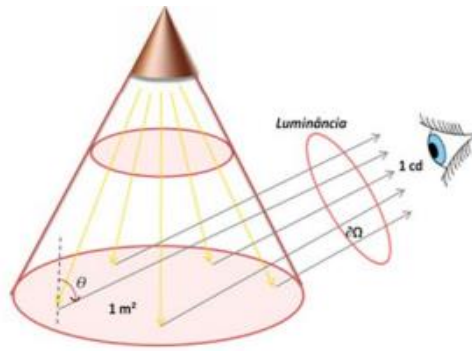
Así se tiene que para las aulas de clases se pueden tener luminarias entre 4000 K o 5000 K y en los laboratorios entre 6000 K y 5000 K, esto se lo realiza en base a las recomendaciones y análisis de las siguientes tablas:

Tono de luz. Temperatura de color	Tipo de actividad o de iluminación
Tonos cálidos. < 3000 K.	Entornos decorados con tonos claros Áreas de descanso. Salas de espera. Zonas con usuarios de avanzada edad Áreas de esparcimiento. Bajos niveles de iluminación
Tonos neutros. 3300 - 5000 K.	Lugares con importante aportación de luz natural Tareas visuales de requisitos medios.
Tonos fríos. > 5000 K.	Entornos decorados con tonos fríos Altos niveles de iluminación Para enfatizar la impresión técnica. Tareas visuales de alta concentración

**Figura 1.16.** Tipo de actividad según la temperatura de color [10]

### 1.3.4.6 Luminancia

La luminancia se define como la intensidad luminosa por superficie a la que el ojo humano pueda detectarlo, tal como se indica en la Figura 1.10. Cabe decir que, a mayor luminancia, habrá mayor sensación de claridad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que si existe una alta luminancia puede provocar deslumbramiento no deseado [10].



**Figura 1.17.** Luminancia [9]

El deslumbramiento aparece cuando existe una elevada intensidad de luz ya sea de forma directa desde la luminaria o reflejada debido al tipo de superficie. Esta luz es penetrada visualmente en el ojo y las células de la retina por lo que provoca en el ser humano fatiga e incapacita por un instante la visión lo que puede provocar accidentes [10].

#### 1.3.4.7 Contraste k

El contraste indica la relación entre la luminancia del objeto “Lo” y de su fondo “Lf”, visto en la Ecuación 1.3 [10].

$$k = \frac{L_o - L_f}{L_f} \quad (1.3)$$

#### 1.3.4.8 Uniformidad

La uniformidad es un factor importante para el confort y visión ya que implica el porcentaje entre una iluminancia y la superficie de referencia [10].

#### 1.3.4.9 Índice de reproducción cromática (CRI)

El índice de reproducción cromática me permite identificar la diferencia entre el color real y el color apreciado por el ojo humano. Este rango también nos ayuda para apreciar de mejor manera los tonos y colores de un objeto. El rango del índice de reproducción cromática va del 0 hasta el 100, y considerando que mientras va aumentando la percepción visual de una con las misma será más real.

Índice de reproducción cromática (Ra)	Grupo de Rendimiento de color	Cálido < 3300 K	Neutro 3300-5000 K	Frio > 5000 K
Excelente 90-100	1A	Halógenas. Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
Bueno 80-90	2A	Fluorescencia lineal y compacta. Sodio Blanco	Fluorescencia lineal y compacta. Halogenuros e Inducción	
Razonable 70-80	1B	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos
Mala < 70	2B	Mercurio. Sodio	Mercurio	

**Figura 1.18.** Índice de reproducción cromática [10]

### 1.3.4.10 Parámetros de iluminación recomendados

Los parámetros de iluminación recomendados para las distintas áreas de un centro educativo son:

Tipo dependencia o actividad	Iluminancia media horizontal (lux)	Clase de calidad al deslumbramiento directo	Grupo de Rendimiento de color
<b>Aula de enseñanza:</b>			
General, trabajos manuales, etc.	300	B	1B
Pizarra (plano vertical)	300		
<b>Aula de informática:</b>			
General	500	A	1B
Pizarra (plano vertical)	300		
<b>Aula de dibujo:</b>			
General	750	A	1A
Pizarra (plano vertical)	300		
<b>Aula laboratorio:</b>			
General	500	B	1B
Pizarra (plano vertical)	300		
<b>Aula taller:</b>			
Trabajo basto	300	D	2A
Trabajo fino	500	B	2A

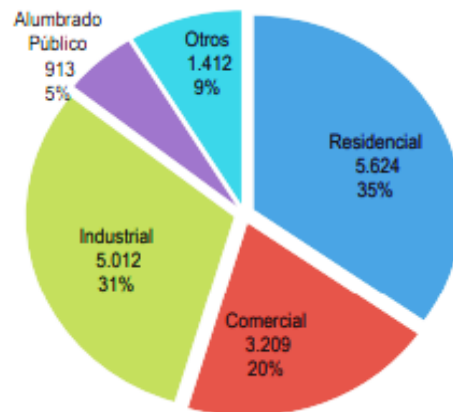
**Figura 1.19.** Parámetros de iluminación recomendados [9]

Tipo dependencia o actividad	Iluminancia media horizontal (lux)	Clase de calidad al deslumbramiento directo	Grupo de Rendimiento de color
<b>Biblioteca:</b>			
Ambiental	200	B	1B
Zona lectura	500	B	1B
Estantería de libros (pl. vertical)	200	B	1B
<b>Salón de actos:</b>			
General	200	C	1B
Escenario	700	-	1B
<b>Gimnasio / polideportivo</b>	300	C	2A
<b>Sala de profesores</b>	300	B	1B
<b>Oficinas administrativas</b>	500	B	1B

**Figura 1.20.** Parámetros de iluminación recomendados [9]

### 1.3.5 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ILUMINACIÓN

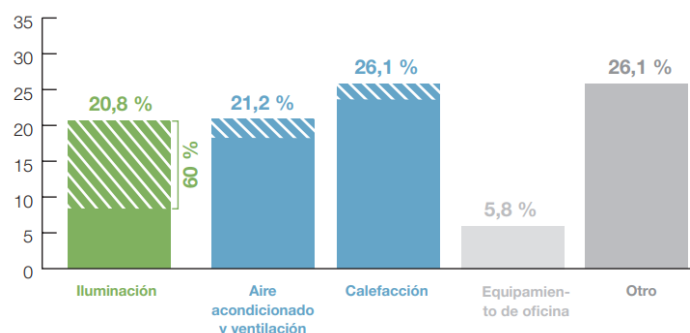
El consumo de energía eléctrica en el Ecuador está dividido por varias categorías o sectores establecidas por las Empresas Eléctricas, tales como residencial (35%), industrial (31%), comercial (20%), alumbrado público (5%) y otros (9%), visto en la Figura 1.11 [11]. En este caso, el edificio de la Escuela Politécnica Nacional se encuentra en la categoría del sector comercial.



**Figura 1.21.** Energía eléctrica por categoría de consumo [11]

La iluminación ocupa entre el 35 al 50% en lo referente a iluminación dentro del sector comercial, por lo que ha optado por utilizar lámparas de menor consumo [11]. Además, se hace necesario realizar un buen control de iluminación con el objetivo de tener ahorro en la energía eléctrica consumida.

#### Uso de electricidad anual en edificios comerciales



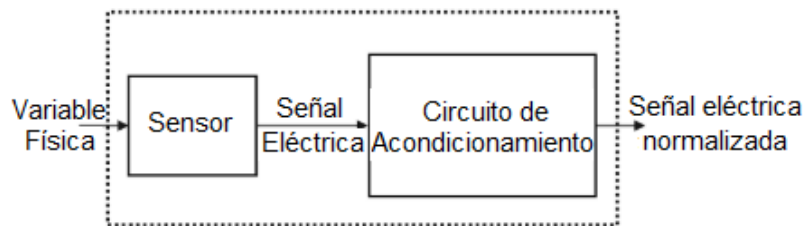
**Figura 1.22.** Energía eléctrica en edificios comerciales [11]

Un diseño de iluminación y control de iluminación se enfoca en crear el ambiente correcto hacia el bienestar humano con el uso eficiente de los espacios y manejo racional de la energía en las instalaciones.

El diseño de iluminación y control implica la manipulación tanto de la luz artificial como la natural.

### 1.3.6 SENSORES

Un sensor es un dispositivo que capta el valor de la variable de un proceso ya sea físico o químico y la transforma en una señal eléctrica, es decir, tiene la capacidad de detectar acciones y responder en consecuencia [12]. Esta señal eléctrica varía de un sensor a otro, por lo que es necesario acoplar un circuito adaptable y cumpla al menos una de las siguientes operaciones como amplificador de la señal, filtrado, corrección y/o conversión de señal; designado como circuito de acondicionamiento, tal como se indica en la Figura 1.12 [13].



**Figura 1.23.** Componentes básicos de un sensor [13]

#### 1.3.6.1 Sensores biométricos

El principio de funcionamiento es similar a los paneles capacitivos de las pantallas táctiles. Son sensores que detectan una diferencia de carga entre la piel del dedo humano y la pantalla con el propósito de formar una imagen virtual de la huella dactilar y poder identificar a las personas. Existen varios sensores biométricos dactilares enunciados a continuación [14]:

- Sensores ópticos, capaces de capturar la imagen de la huella dactilar por medio de una fuente de luz, la imagen es capturada, muestreada y procesada mediante circuitos, tal como se indica en la Figura 1.13.



**Figura 1.24.** Sensor dactilar óptico [14]

- Sensores ultrasónicos, consisten en emitir un pulso y este a su vez rebota en las crestas papilares del dedo. La imagen se va formando mediante los valores recibidos por el sensor.

### 1.3.6.2 Sensores de presencia y movimiento

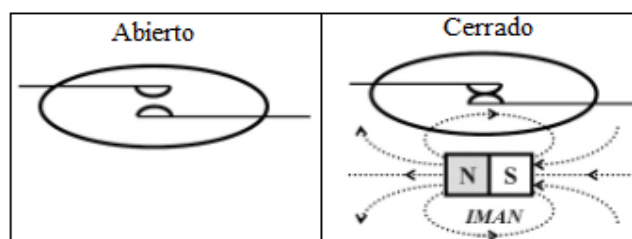
Los sensores de movimiento son dispositivos que detectan cualquier movimiento físico dentro de un área determinada mediante el uso de elementos emisores y receptores de señales [15]. Existen varios tipos de sensores que se clasifican según la distancia de detección y del material del objeto, visto en la Figura 1.14 [13].



**Figura 1.25.** Detectores de objetos [13]

El principio de funcionamiento de los detectores ópticos y ultrasónicos son similares a los sensores de huella dactilar.

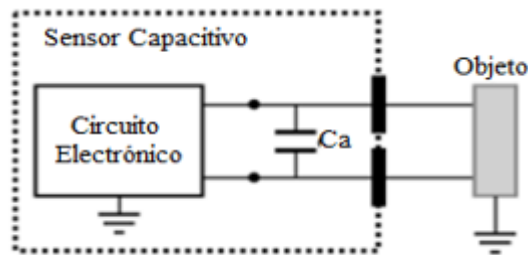
- El sensor magnético consta de una ampolla de vidrio donde se colocan dos láminas metálicas, estas forman un contacto e indica su apertura cuando no se aplica un campo magnético y se cierra cuando detecta el objeto, tal como se indica en la Figura 1.15 [13].



**Figura 1.26.** Sensor magnético [13]

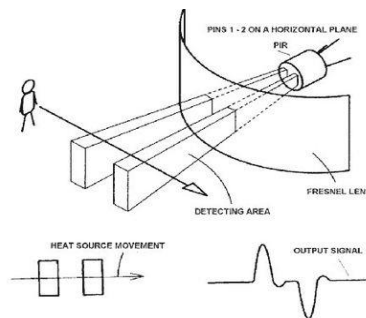
- El funcionamiento del sensor capacitivo consiste en la interacción del campo electrostático y el objeto a detectar. En la Figura 1.16 se observa un diagrama de bloques del sensor de capacitivo, donde  $C_a$  indica la capacidad entre placas del condensador abierto. El sensor

inductivo es similar al conductivo con la diferencia de que utiliza un inductor para la detección del objeto [13].



**Figura 1.27.** Sensor capacitivo [13]

- Los sensores pasivos infrarrojos consisten en detectar algún cambio físico en forma de radiación infrarroja y disparar alguna alarma indicando ante la presencia del objeto, tal como se indica en la Figura 1.25 [16]. La función del lente de Fresnel es permitir el paso de la radiación infrarroja bajo un ángulo de apertura de detección del sensor.



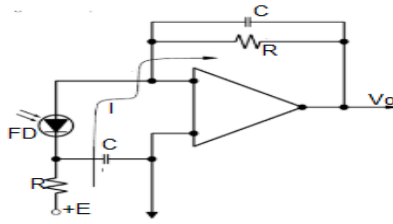
**Figura 1.28.** Sensor pasivo infrarrojo PIR [16]

### 1.3.6.3 Sensores de luz natural

Los sensores de luz natural pueden ser fotocélulas, fotodiodo o fototransistores.

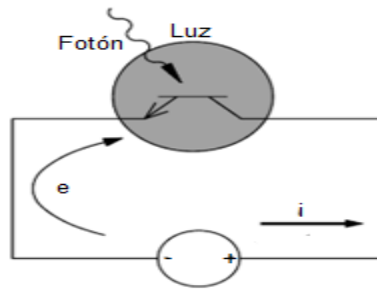
- El fotodiodo formado por un elemento óptico semiconductor y puede estar polarizado directa e inversamente. Cuando tiene polarización directa la corriente que es generada por la luz es menor a la corriente del diodo; por lo tanto, para obtener la corriente del haz de luz, se debe polarizar en inversa. En la Figura 1.18 se aplica un voltaje en configuración inversa en el fotodiodo y mediante un circuito de acondicionamiento se obtiene un convertidor luz – voltaje [17].





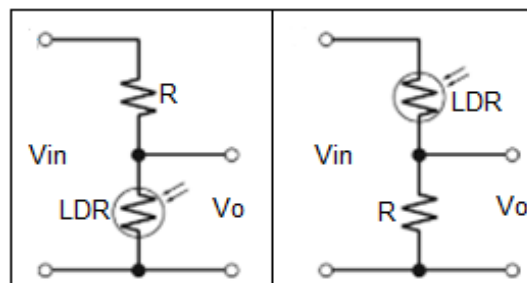
**Figura 1.29.** Convertidor luz – voltaje con fotodiodo [17]

- El fototransistor es un elemento que actúa cuando hay presencia o ausencia de dicho haz, por ello se define como un transductor entre la luz y una señal eléctrica. El funcionamiento es similar a un transistor, salvo que el fototransistor suele carecer de una base y mediante el efecto fotoeléctrico se genera portadores de carga que circulan a través de este, tal como se visualiza en la Figura 1.19. La corriente eléctrica que existe entre el colector y emisor se determina mediante la irradiación que recibe el elemento fotosensible [17].



**Figura 1.30.** Fototransistor [17]

- La fotocélula o sensor fotoeléctrico es un elemento que requiere de un emisor para generar la luz y un receptor para obtener la luz generada. El sensor comúnmente empleado es la fotorresistencia o LDR, consiste en una resistencia que varía en función de la intensidad de luz incidente. Una de las configuraciones de estos sensores se realiza con un divisor de voltaje, visto en la Figura 1.20 [17].



**Figura 1.31.** Fotorresistencia [17]

### 1.3.7 MICROCONTROLADORES AVR

AVR desarrollada por Atmel de Noruega cuenta con microcontroladores de arquitectura RISC (grupo reducido de instrucciones para computadoras) con conjunto de instrucciones CISC (conjunto de instrucciones complejas). Tiene arquitectura Harvard con memoria flash para código, Eeprom y Sram para datos. Además, posee algunas variedades de microcontroladores en función del tamaño y características como registros de trabajo, núcleo eficiente, alto nivel de integración, entre otros. Por último, los microcontroladores AVR se dividen en cuatro grupos, tal como se indica en la Figura 1.32 [22].

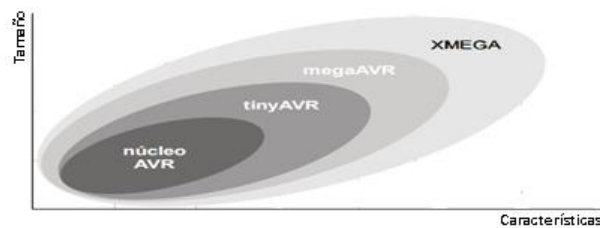


Figura 1.32. Microcontroladores AVR de Atmel [22]

Considerando que el diseño del sistema de control de iluminación está previsto para futuras ampliaciones y mejoras de las capacidades de control del sistema, se cuenta con microcontroladores ATxmega de la serie A4U, cada paquete viene dado por 44 pines, que contienen osciladores, funciones análogas y digitales, pines de alimentación, programación, depuración, testeo, pines para colocación de un cristal para el uso de un reloj externo y entradas/salidas de propósito general, tal como se indica en la Figura 1.33. Los Xmega son microcontroladores de 8 y 16 bits de alto rendimiento, poseen un bajo consumo de energía y están basados en la arquitectura RISC mejorada de AVR [23].

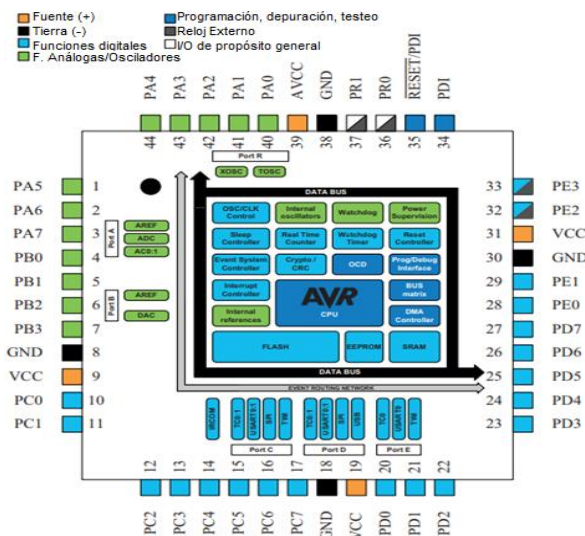


Figura 1.33. Distribución del Microcontrolador ATxmega [23]

Los microcontroladores AVR Xmega A4U poseen las siguientes características [23]:

- Controlador DMA y sistema de eventos de 4 y 8 canales, respectivamente.
- Flash programable en el sistema con lectura.
- Memorias Eeprom interna y Sram.
- Controlador programable de interrupción multinivel.
- 34 entradas/salidas de propósito general.
- Contador de tiempo real RTC de 16 bits.
- Comunicaciones seriales: 5 USARTs y 2 SPI.
- Temporizadores y contadores de 16 bits.
- 2 interfaces seriales de 2 hilos TWI.
- 2 comparadores analógicos con ventana.
- Un motor criptográfico AES y DES.
- Un convertidor análogo/digital de 12 canales de 12 bits con ganancia programable.
- Una interfaz USB 2.0 de velocidad.
- Osciladores internos precisos con PLL, pre escalador y detección de apagón programable.
- Una interfaz rápida de 2 pines para programación y depuración.
- Poseen 5 modos de ahorro de energía seleccionables por software.
- Por último, son compatibles con una gran gama de programas y sistemas, incluyendo compiladores C, programadores y kits de evaluación, ensambladores de macros, depuradores y simuladores de programas.

### **1.3.8 PANTALLA TÁCTIL TFT**

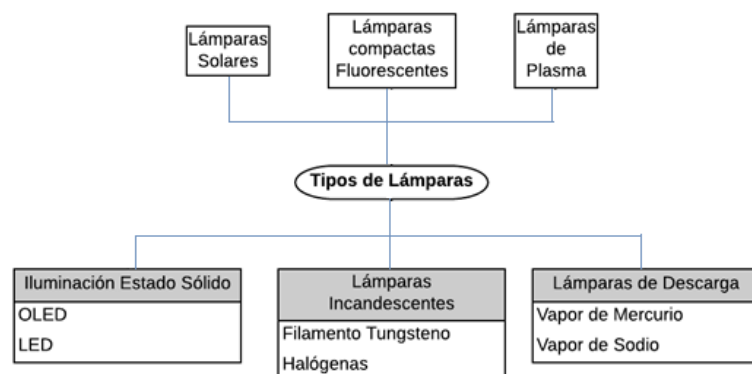
La pantalla TFT (Figura 1.34) es un transistor de efecto de campo en el cual se deposita una película fina en un mosfet o semiconductor. Además, la capa de material dieléctrico y dispositivos metálicos se depositan en el vidrio. Cada píxel posee un transistor en la pantalla TFT, el cual puede mostrar gráficos complejos, colores y texto nítido. Por último, ofrece una interfaz amigable con el usuario para aplicaciones de cualquier índole [24].



**Figura 1.34.** Pantalla TFT [25]

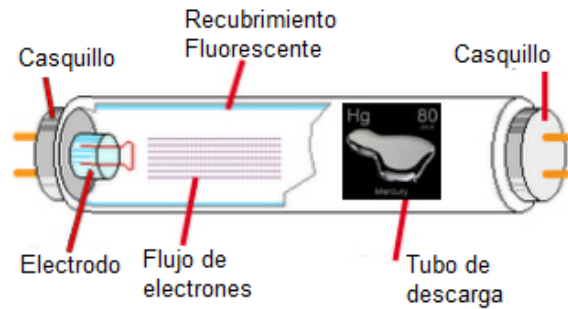
### 1.3.9 TECNOLOGÍA DE LÁMPARAS DE ILUMINACIÓN GENERAL

Las luminarias han estado presentes desde el siglo VII cuando los griegos empleaban lámparas de terracota. Al pasar los años se ha observado avances hasta llegar al año de 1792 cuando se diseñó la primera lámpara a gas por William Murdock. En la actualidad, se presentan numerosos tipos de lámparas, entre ellas eléctricas incandescentes y fluorescentes. A continuación, en la Figura 1.21, se indican la variedad referente a lámparas de iluminación [18].



**Figura 1.35.** Lámparas de iluminación general [18]

Actualmente, el salón 216B cuenta con 36 lámparas fluorescentes o de descarga con vapor de mercurio a baja presión. En la Figura 1.36 se tiene una lámpara de descarga con vapor de mercurio, en la cual al interior del tubo pasa una corriente eléctrica y los gases como mercurio, argón y neón interactúan entre sí; luego se genera energía gracias al paso de electrones y esta a su vez transforma la radiación ultravioleta en visible. Por último, posee dos casquillos ubicados en los extremos de la lámpara [19].



**Figura 1.36.** Lámpara fluorescente [19]

También posee cinco lámparas halógenas dicróicas (Figura 1.37) y su función es similar a las incandescentes, con la diferencia en que se añade un gas para regenerar el filamento de la lámpara, de esta manera se incrementa la vida útil y eficiencia de la lámpara [19].



**Figura 1.37.** Lámparas halógenas [19]

En la actualidad, se utiliza lámparas LED (Figura 1.24) ya que poseen un elevado flujo luminoso y rendimiento por vatio consumido. El desarrollo de este tipo de lámparas se debe a la obtención de luz blanca por medio de un semiconductor hecho de Nitruro de Galio [19].



**Figura 1.38.** Lámparas LED [19]

### 1.3.9.1 Diferencia entre luminaria LED y un retrofit de LED

Un retrofit de LED es un reemplazo directo de un foco incandescente/halógeno conectada directamente a 110V. Las luminarias LED por el contrario están formadas por un driver de LED. El driver generalmente es un componente separado de la luminaria con características colocado en la caja de conexiones, similar a un balastro fluorescente.

### 1.3.9.2 Drivers

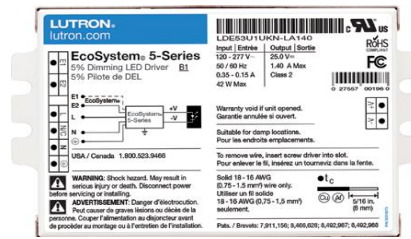


Figura 1.39. Drivers para luminarias [21]

Un driver es un dispositivo electrónico que permite regular el flujo de energía que alimenta a un LED o varios LEDs, estos vienen configurados a la corriente o voltaje constante al que funcionan las luminarias.

#### Parámetros Técnicos de un Driver

1. Voltaje de Alimentación.
2. Factor de Potencia.
3. Protección Térmica.
4. THD.
5. Eficiencia del Driver.
6. Rango de Regulación.
7. Regulación Por PWM o CCR.
8. Soft-On.
9. Fade-To-Black.

#### PWM Vs CCR

##### PWM Pulse Width Modulation

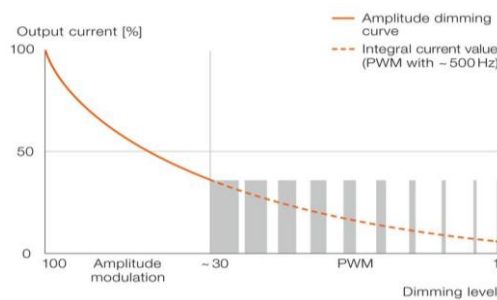


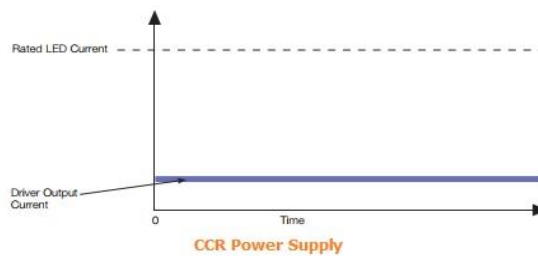
Figura 1.40. PWM VS CCR curva [21]

- Mantenimiento de la temperatura de color en el rango de atenuación.
- Curva Logarítmica de Atenuación.
- Usados por muchos drivers DALI.

### Aplicaciones:

Luminarias que deben atenuarse por debajo del 40% y mantener un color constante y aplicaciones de mezcla de colores, debido a su necesidad de niveles precisos de cada color.

### CCR Constant Current Reduction



**Figura 1.41.** Figura dimerización CCR [21]

- Atenuación Lineal.

### Aplicaciones:

- Accesorios que requieren una salida clasificada UL clase 2 con un voltaje de salida más alto que el nivel de voltaje PWM UL clase 2.
- Aplicaciones donde pueden existir largos tendidos de cable entre el driver y los arreglos de LED; y se requiera un alto desempeño en la atenuación.
- Aplicaciones que pueden tener requisitos estrictos de EMI, como suites médicas
- Aplicaciones con alta actividad de movimiento o maquinaria rotativa

### Parámetros de selección de un driver:

- El LED o los arreglos de LED son de Voltaje Constante o Corriente Constante.
- El ensamble es en Paralelo o en Serie.
- Que potencia total va a controlar el driver.
- Tipo de Encapsulado se necesita, tipo Rectangular, Lineal o Small Form Factor.
- La atenuación del LED o los arreglos del LED es por PWM o CCR en caso de los de Corriente Constante.
- Rango de atenuación necesitamos, 5%-100%, 1%-100%, 0.1%-100%.
- Tipo de señal de control recibe el driver: 2-wire, 3-wire o DALI
- Otras Características – Fade To Black, Encendido Suave, etc.

### Drivers De Corriente Constante

- Típicamente se usa en luminarias de alta eficacia.
- 200mA to 2.1Amps (in 10mA steps)
- Up to 75 Watts
- Para dimensionar el driver a usar se debe conocer la corriente nominal y el Voltaje o Potencia de Operación.

### Drivers de Voltaje Constante:

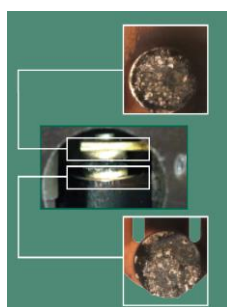
- Usado Típicamente en Cintas de LED y algunas Luminarias decorativas.
- 10 Volts to 40 Volts (in 0.5V steps)
- Para dimensionar el driver a usar se debe conocer el Voltaje de Operación y la Potencia total.

## 1.3.10 TIPOS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN

Existen varias formas de control de iluminación, pero para el proyecto se va a explicar cuatro modos de control que actualmente son los más empleados y útiles: on/off, dimerización por fase, chopper y protocolo DALI.

### 1.3.10.1 Conmutación suave / Control ON/OFF Tradicional

El control on/off de iluminación puede ser realizado mediante el activado/desactivado de relés o por medio del control de flujo luminoso con dimmer (0 – 100%) [20].



**Figura 1.42.** Conmutación suave [21]

- ✓ Vida útil de contactos, 50.000 – 200.000 ciclos.
- ✓ Arco eléctrico en el encendido y apagado.



### 1.3.10.2 ON/OFF Conmutación Suave



Figura 1.43. Conmutación ON/OFF [21]

- ✓ Vida útil de contactos, mínimo 1 millón de ciclos.
- ✓ NO hay arco eléctrico en el encendido y apagado.

Conmutación suave es diferente a cruce por cero

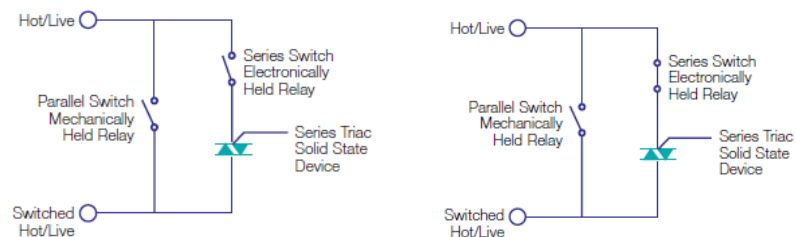


Figura 1.44. Conmutación ON/OFF [21]

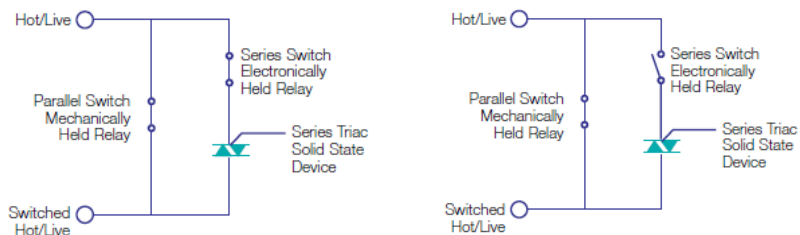


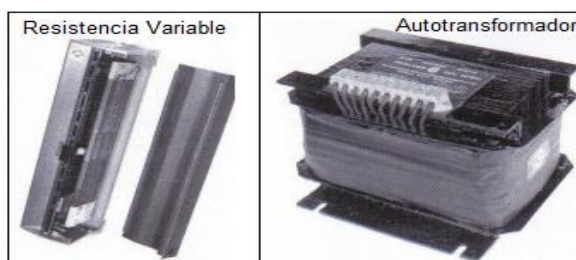
Figura 1.45. Conmutación ON/OFF [21]

### 1.3.10.3 Dimerización por Fase

Los dimmers son elementos electrónicos cuya función es regular la intensidad de luz aplicando la técnica de conmutación. En el año 1890, fue creado el primer dimmer de resistencia variable (Figura 1.25) por Glanville Woods, este método es sencillo debido a la conexión en serie con la luminaria. Además, mediante el uso de un control por corriente se variaba la brillantez de las lámparas. Sin embargo, poseían grandes inconvenientes como ocupar amplios espacios, altas

disipaciones de calor y fijos para una luminaria específica, es decir, que un dimmer de 1kW solo era adecuado para una luminaria de 1kW [20].

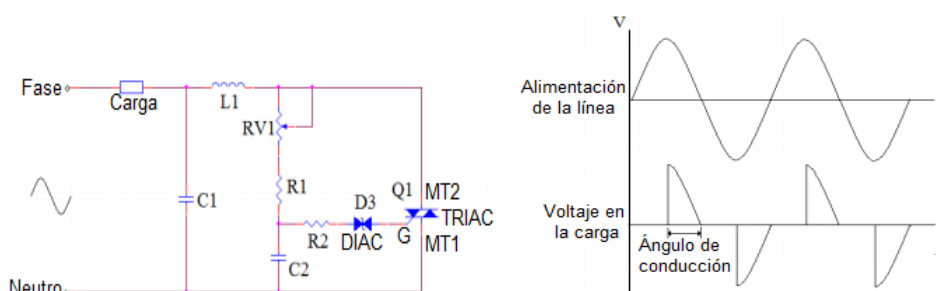
Para evitar los inconvenientes de pérdida de energía debido a la disipación de calor, se desarrollaron los dimmers de reactancia variable y con autotransformadores, salvo que su construcción mecánica era cara, pesada y de estructura grande, tal como se indica en la Figura 1.24 [20].



**Figura 1.46.** Dimmer resistivo y de autotransformador antiguo [20]

Posteriormente en el año 1960, la invención del tiristor ha hecho que los dimmers sean de tamaño pequeño, eficientes y económicos. Los circuitos para dimmer con tiristor requieren que su momento de disparo sea desde algún punto establecido luego de que la señal sinusoidal cruce por cero, esta técnica se denomina control por ángulo de fase. Su función es controlar la conducción del tiristor y regular la corriente a la carga con el propósito de regular y controlar la potencia consumida por la lámpara [20].

En la Figura 1.26 se observa un circuito para controlar una carga, para ello se tiene un triac el cual permite que ambos semiciclos del voltaje alterno AC circulen en la carga. Para obtener este control, se dispara una señal a través del gate (terminal G del tiristor) y cuando suceda esta condición, la corriente circulará en el semiciclo positivo (terminal MT2). Lo mismo sucede con el semiciclo negativo (terminal MT1) cuando se dispare la señal a través del gate. Para obtener la señal de disparo, se utiliza un diac (diodo bidireccional) el cual permite controlar la transición de encendido/apagado de forma suave [20].

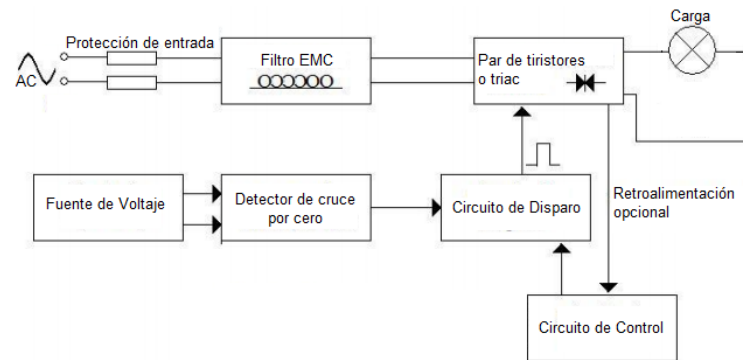


**Figura 1.47.** Diagrama circuital de un dimmer analógico [20]

En la Figura 1.26 se indica un diagrama de bloques para un dimmer controlado remotamente por un tiristor, el cual consta de tres partes fundamentales [20]:

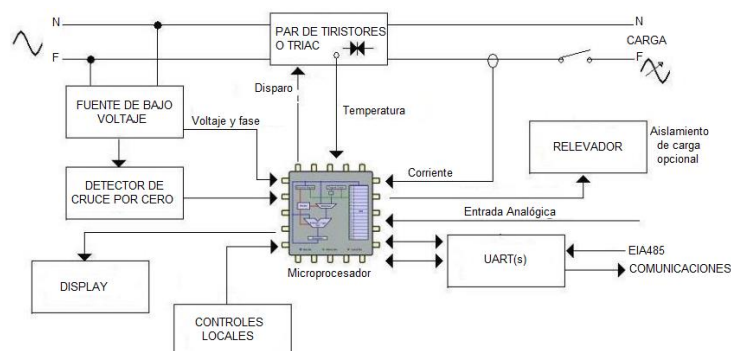
- El detector de cruce por cero cuando la señal senoidal pasa por dicho punto. Para técnicas de control por fase es esencial este detector, ya que el disparo del tiristor es medido desde el cruce por cero.
- También posee un circuito de disparo para lograr comparar el momento de la señal senoidal con el cruce por cero y llegado a ese punto, disparar el tiristor.
- Por último, se tiene un circuito de control para regular la iluminación de la lámpara. Adicional se utiliza triac opto aislados para separar los circuitos de control y potencia.

Además, se colocan filtros EMC (compatibilidad electromagnética) para eliminar ruido en el circuito y remover algunos de los armónicos debido a las altas velocidades de conmutación [20].



**Figura 1.48.** Diagrama de bloques para un dimmer controlado por tiristores [20]

Un método fácil y económico para el control del dimmer es por medio de un microprocesador, visto en la Figura 1.28. Este procesa las señales de control y controla la potencia. La función principal del microprocesador es controlar el ángulo de fase y ejecuta tareas como el cálculo de retraso entre el cruce por cero y el encendido del tiristor [20].



**Figura 1.49.7** Diagrama de bloques de un dimmer con microprocesador [20]

- **Ventajas de 2 Hilos**

- Facilidad de instalación
- No Hay cables adicionales

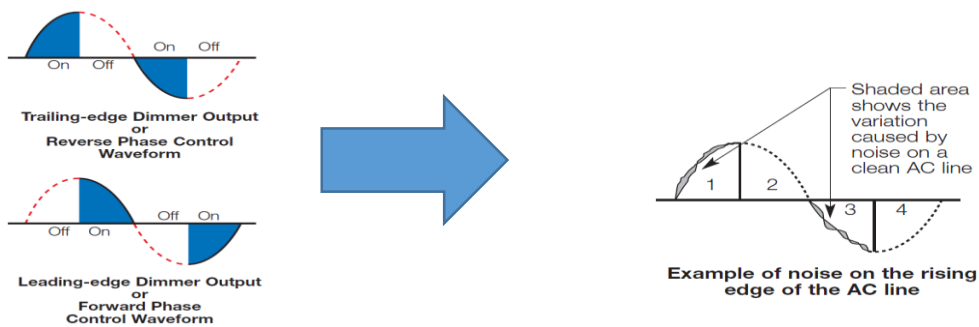
- **Desventajas de 2 Hilos**

- Distorsión armónica total (THD) aumenta al atenuar
- Conexión de zonas no independiente
- Puede requerir controles especiales para rendimiento óptimo
- Atenuación Hasta 5%

### 1.3.10.4 Control de Fase

RTISS – Real Time Illumination Stability System

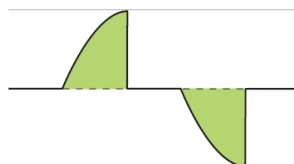
Mantener el nivel de iluminación estable ante variaciones del 10 % en el nivel tensión y 2% en frecuencia



**Figura 1.50.** Control de Fase [21]

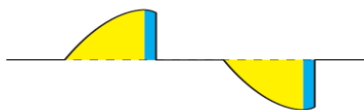
### Funcionamiento control por Fase

Potencia esperada proporcionada al dimmer.



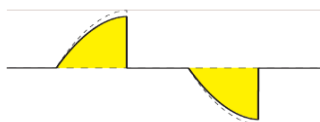
**Figura 1.51.** Control de Fase

Compensa el hundimiento de la línea realizando más tiempo (sección azul).



**Figura 1.52.** Control de Fase

Energía de baja calidad causada por la caída de línea



**Figura 1.53.** Control de Fase

La potencia de salida real cuando la línea se hunde es la misma que la potencia esperada



**Figura 1.54.** Control de Fase

### 1.3.10.5 Protocolo de comunicación digital de iluminación DALI

El protocolo DALI permite el control digital, configuración y posee un control analógico entre 0-1 a 10 voltios. Además, posee las siguientes características [21]:

- DALI es de fácil instalación, robusta, flexible y escalable.
- Existe dos versiones cuyas diferencias se indican en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2.** Versiones DALI [17]

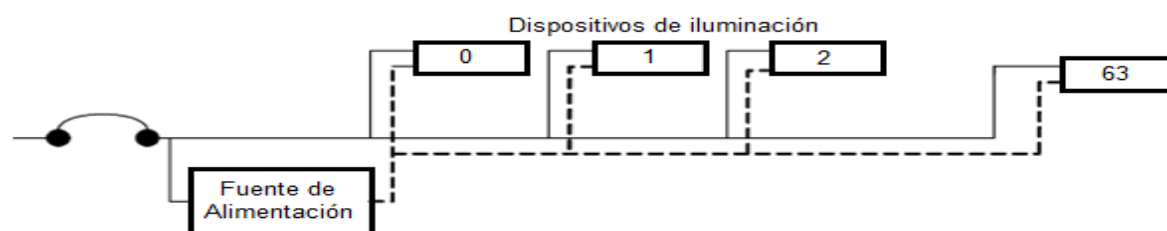
Descripción	Certificación DALI-2	Registro DALI versión 1
Posee dispositivos de control	Sí	No
Garantiza la interoperabilidad del producto	Sí	No
Pruebas verificadas por la alianza global de la industria para el control de iluminación DALI	Sí	No
Requiere compra de créditos de certificación	Sí	No
Registro de productos	Sí	Sí

- El logotipo DALI versión 1 se utiliza en una lámpara cuando un producto cumple con los requisitos para el registro de productos DALI. En cambio, el logotipo DALI versión 2 deben estar certificados y cumplir con la norma IEC 62386. Los beneficios del uso de DALI-2 son: instalación sencilla, menos cableado, productos rentables, confort, flexibilidad y fácil mantenimiento. En la Tabla 1.3 se indica varios ejemplos dependiendo del tipo de luminarias con el uso del logotipo DALI versión 2.

**Tabla 1.3.** Luminarias con DALI versión 2 [21]

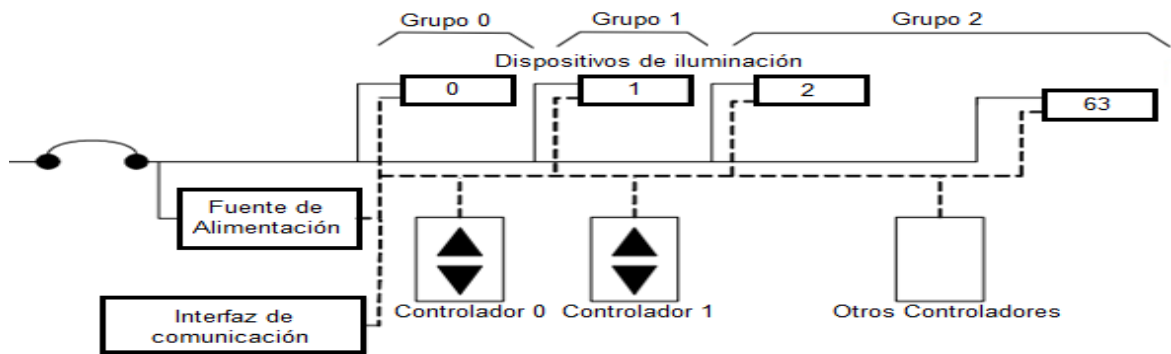
Tipo de Luminaria	DALI-2
El controlador LED interno forma parte de un componente DALI	Si se reemplaza el controlador por uno que no es certificado y se tiene la luminaria de logotipo DALI-2, se debe retirar obligatoriamente la luminaria.
Si el controlador no se puede quitar para las pruebas DALI-2	El fabricante de luminarias debe formar parte de la DiiA (Alianza Global de la Industrial para el control de Iluminación DALI)
Se tiene una luminaria con controlador externo	Tanto la luminaria como el controlador debe ser DALI-2
Cuando los componentes DALI (controlador y sensor) se puedan probar por separado	Los componentes deben poseer la certificación DALI-2 y que el sensor sea un solo maestro

- El cableado puede ser de topología estrella, 2 hilos en línea o mixta. Permite conectar hasta 64 dispositivos de salida de iluminación (Figura 1.29), entre ellos pueden ser balastos, transformadores, relés, etc.



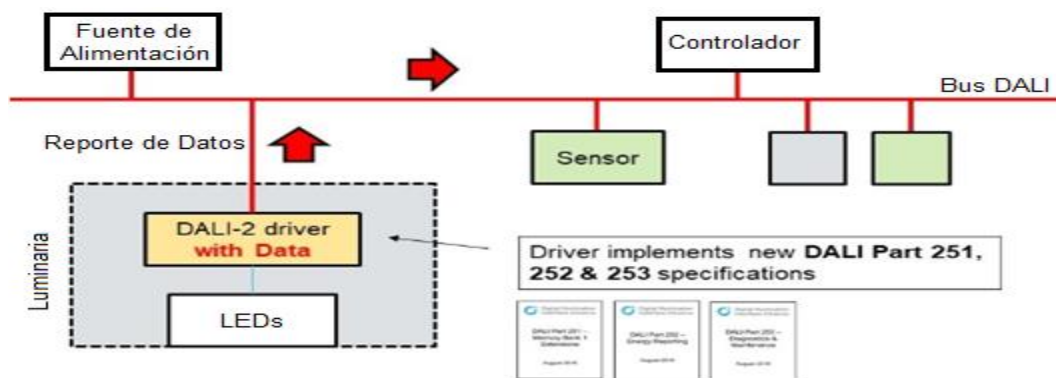
**Figura 1.55.** Conexión DALI a los dispositivos de salida [21]

- Tiene la opción de controlar de forma individual o grupal a las luminarias ya que se asigna direcciones para el control, visto en la Figura 1.30. Además, puede tener uno o varios maestros para el control de las luminarias.



**Figura 1.56.** Controlador de balastos seleccionados [21]

- Permite la comunicación bidireccional entre dispositivos, de esta manera puede enviar/recibir información utilizando el mismo par de cables. DALI admite luminarias que puedan reportar datos de diagnóstico, inventario y operativos, visto en la Figura 1.31.
- Tiene la capacidad de reprogramar el software sin la necesidad de cambiar el cableado.



**Figura 1.57.** Información de la luminaria con DALI-2 [21]

- Cada driver DALI permite direccionar individualmente a través de un protocolo digital, y tener funciones como atenuación y switcheo sin la necesidad de equipos de potencia ni relés.
- Este protocolo permite realizarlo en modo broadcast, en un máximo de 16 grupos.

**Instalación y cableado:**

- Uno de los primeros puntos a tener en cuenta es el cableado de la instalación, la caída de tensión máxima en la línea de control no debe ser superior a 2V y una corriente máxima de corriente de 250mA.
- La máxima longitud de cableado va a depender del calibre y sección del cable.

Longitud del cable	Sección
Hasta 100m	0,5 mm <sup>2</sup>
100m-150m	0,75mm <sup>2</sup>
150m-300m	1,5 mm <sup>2</sup>

**Figura 1.58.** Secciones de cable a emplear en función de la distancia en DALI

### Configuración luminarias DALI :

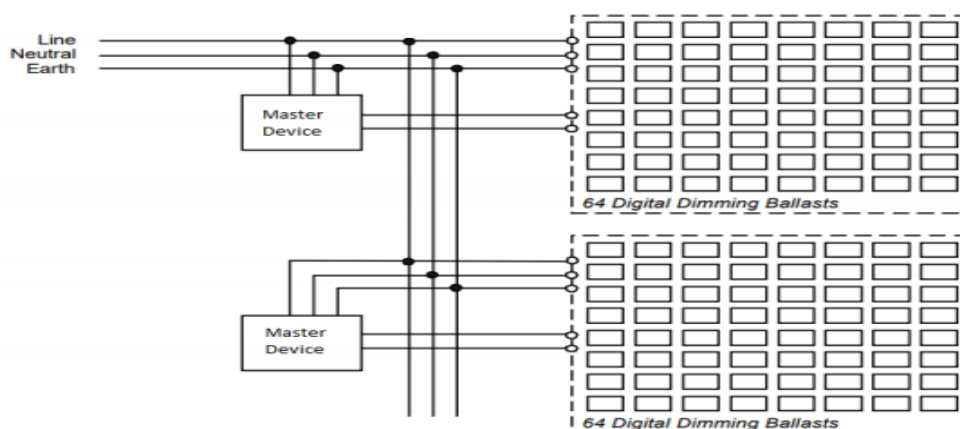
El sistema DALI permite configurar hasta 16 escenas diferentes, redireccionar 64 equipos individuales o hasta 16 grupos de forma simultanea mediante un comando “*broadcast*”. Otro dato importante a tener en cuenta, es la posibilidad de cambiar la configuración de la instalación en cualquier instante sin necesidad de recablear. [21]

### Regulación:

- La curva de regulación del sistema DALI es una curva logarítmica determinada a la sensibilidad del ojo humano, establecida en la norma internacional IEC 62386. El rango de regulación está definido entre el 0.1% y el 100%, estando determinado el nivel mínimo por el fabricante del equipo.
- El tiempo necesario para ir desde un nivel lumínico a otro se denomina fade time y la velocidad del cambio de la luz llamada fade rate, son parámetros configurables vía software

### Características

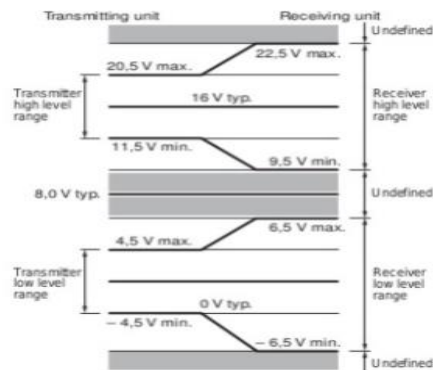
- Para la conexión de los drivers se emplean dos cables por los que se envían los comandos del protocolo DALI, Este protocolo permite conectar en un mismo bus en paralelo se pueden conectar hasta 64 drivers a un control maestro.



**Figura 1.59.** Comunicación luminarias DALI [21]



- El bus de datos DALI no posee polaridad, lo que facilita la conexión de los equipos especialmente en construcciones en las que ya se tiene todo cableado.



**Figura 1.60.** Niveles de voltaje para el bus DALI

Cada uno de los elementos del bus DALI adquiere direcciones que permite identificarlos y poder controlarlos independientemente.

Además, este protocolo permite realizar un broadcast para poder comunicare entre todos los equipos al mismo tiempo.

### 1.3.11 AMBIENTES INTELIGENTES

El ambiente inteligente abarca una modalidad de entorno no sólo como un espacio físico sino como un sistema formado por los seres vivos, suelo, aire, agua, etc. Por ello, se puede considerar al ambiente inteligente como el desarrollo de sistemas orientado a ordenadores emocionales, microordenadores y sistemas de inmersión virtual capaces de obtener una interacción inteligente con la finalidad de satisfacer las necesidades de los seres humanos. Además, el desarrollo y comunicación de dispositivos define al ambiente inteligente como un medio para acelerar y potenciar las capacidades sensoriales y cognitivas [3].

Un ambiente inteligente en un espacio cerrado que consta de tres fases: la primera cuenta con una interfaz, es decir, la interacción entre el sistema y el usuario. La segunda fase es el conocimiento en los dispositivos tecnológicos y, por último, se tiene la idea o diseño para la elaboración del ambiente inteligente con el propósito de satisfacer las necesidades de los usuarios [3].

En la Figura 1.1 se observa como el ambiente inteligente se conforma mediante la integración de subsistemas tecnológicos con el objeto de ofrecer un mayor confort y armonía al usuario en un entorno [4].



**Figura 1.61.** Ambientes inteligentes [4]

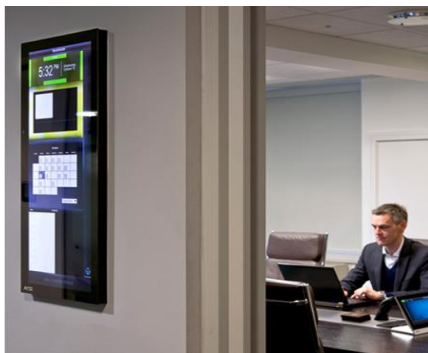
### **1.3.11.1 La iluminación como parte de los ambientes inteligentes**

La iluminación realiza un papel muy importante dentro de cada ambiente ya que puede o no afectar directamente en la salud visual y rendimiento de las personas. Actualmente, existen dispositivos tecnológicos automatizados que permiten desarrollar ciertos aspectos como el control de nivel y tono de iluminación, encendido y apagado automático de luminarias, detección de presencia y programar a diferentes horarios de funcionamiento [5].

### **1.3.11.2 Necesidad de automatizar la iluminación**

Como se ha mencionado anteriormente, la importancia de tener una iluminación automatizada radica en obtener una alta calidad de vida en los seres humanos y ahorro en el consumo de energía eléctrica. Por lo que se desarrolla un sistema de gestión de la luz junto con un sistema de sensores para que sean adaptados según las necesidades requeridas. Por último, el control de iluminación tiene como fin producir una cantidad de luz adecuada en oficinas, institutos educacionales, centros de salud, en el hogar, etc., es decir para cualquier ambiente o entorno [6].

En términos generales, la iluminación automatizada dentro de un ambiente permite crear escenas y acondicionar espacios para brindar confort, comunicación, seguridad y control a los usuarios, tal como se indica en la Figura 1.2 [4].



**Figura 1.62.** Automatización de la iluminación [4]

### 1.3.12 ARQUITECTURAS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN

Las actuales tecnologías de control se basan en tres tipos de estructuras diferentes:

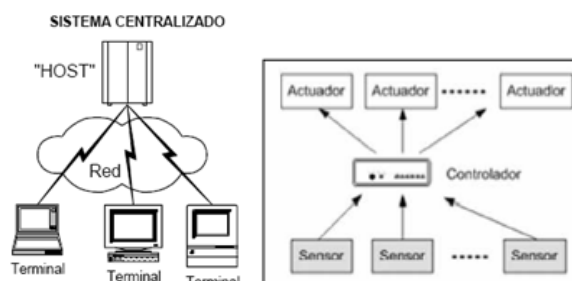
- Control independiente
- Control centralizado
- Control distribuido

#### 1.3.12.1 Control independiente

Un control independiente es un sistema en el cual los mismos dispositivos poseen elementos de control, y estos a su vez realizan tareas al margen del funcionamiento de los otros.

#### 1.3.12.2 Control centralizado

El control centralizado se lo diferencia por tener un elemento o dispositivo de mando central desde el cual se envían todas las señales de comunicación con el resto de dispositivos. El equipo central se encarga del enlace entre los controladores de carga y los mando o controles del sistema,



**Figura 1.63.** Automatización de la iluminación

### 1.3.12.3 Control distribuido en Red

Un control distribuido, es un sistema en el que se cuenta con varios dispositivos independientes que se comunican entre ellos a través de un medio, que puede ser un BUS de datos, con la finalidad de poder enviar y recibir órdenes de todos y cada uno de los dispositivos.

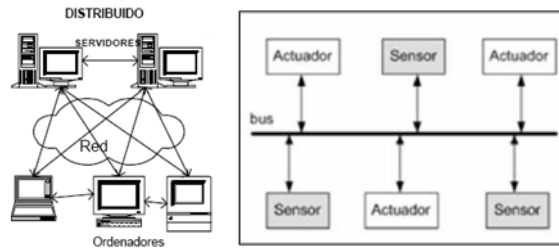


Figura 1.64. Automatización de la iluminación

El control de iluminación tiene dos términos muy importantes que hay que considerar y tomar en cuenta para un correcto diseño.

#### Zona

Se denomina zona a un área o conjunto de áreas dentro de un espacio físico. También puede verse en algunos casos como circuitos de iluminación. En el Proyecto se considera zonas al Aula de clases, al laboratorio y a la sala de reuniones.

#### Escena

Una escena es una agrupación de niveles de iluminación de una o varias zonas conjunto de características de la iluminación de una o varias zonas dentro de un espacio, destinadas para una actividad o necesidad.

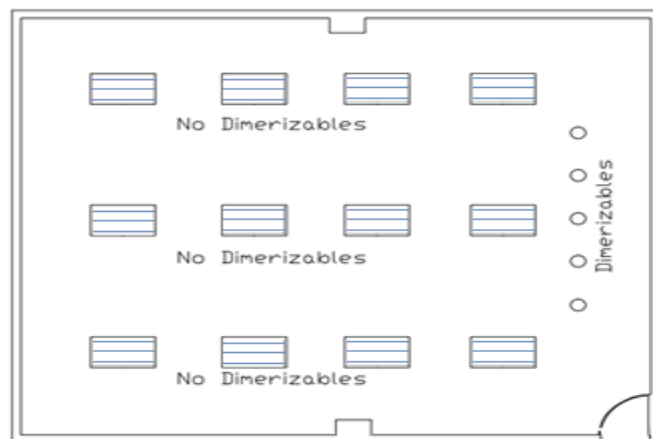
### 1.3.13 LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

El salón 216B ubicado en el Edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo (EARME) de la EPN (Figura 1.3) es un salón que inicialmente contaba con los siguientes elementos:



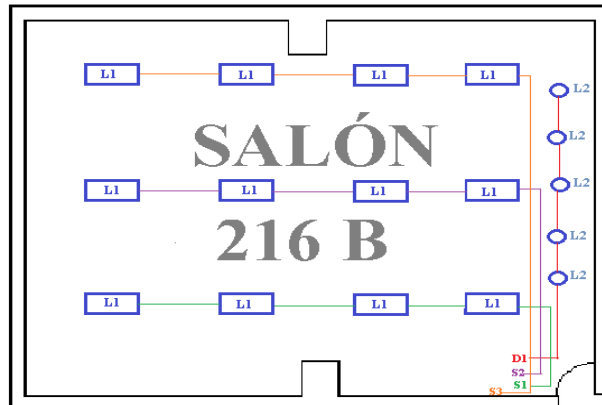
**Figura 1.65.** Salón 216B diseño inicial

- Cinco luminarias halógenas dimerizables con su transformador de 50w cada una, ubicadas en la parte frontal, direccionadas hacia la pizarra.
- Doce luminarias de tubos fluorescente de 3x32 W cada una, las cuales están distribuidas uniformemente en el espacio, vistos en la Figura 1.4.
- El espacio cuenta con 3 interruptores y un dimmer.
- El salón está diseñado como un salón de clases y espacios de estudios.
- Consumo energético alto.



**Figura 1.66.** Distribución de luminarias sala 216B

En el esquema de la Figura 1.67, se puede apreciar las conexiones eléctricas iniciales del salón 216b:



**Figura 1.67.** Conexión eléctrica del sistema de iluminación inicial

Inicialmente se contaba con los siguientes circuitos:

**Circuito 1:** cuatro luminarias fluorescentes Sylvania 3 x 32W /6500 K

**Circuito 2:** cuatro luminarias fluorescentes Sylvania 3 x 32W /6500 K

**Circuito 3:** cuatro luminarias fluorescentes Sylvania 3 x 32W /6500 K

**Circuito 4:** cinco dicroicos halógenos de 50W /Dimerizable



**Figura 1.68.** Condiciones iniciales aula

Al realizar una inspección de cada uno de los elementos del aula, nos encontramos con lo siguiente:

- El dimmer que controla las luminarias halógenas se encuentra dañado, no dimeriza.
- Los transformadores de las luminarias halógenas llegan a temperaturas elevadas y bastante desgastados.
- Se tiene los tubos fluorescentes de diferentes temperaturas de color, unos de luz cálida y otros de luz fría.
- En las luminarias fluorescentes se evidencia la contaminación producida por el mercurio que contienen las mismas.

- Para desarrollar cualquier actividad dentro del salón, se encienden todas las luminarias.
- Las luminarias se las enciende manualmente a cualquier horario en el que se ingrese al salón, desde muy temprano hasta la tarde que se termina su jornada.
- En algunas ocasiones olvidaron apagar las luminarias hasta el siguiente día.

Bajo los requerimientos establecidos en la implementación del presente trabajo, y como parte del Proyecto inédita “Diseño e Implementación de un Modelo Inclusivo de Admisión para el Sistema de Educación Superior en el Ecuador” desarrollado en el aula 216B del EARME el espacio se lo modifica y distribuye tanto física como funcionalmente en tres espacios orientados a las siguientes actividades: aula de clases, laboratorio y sala de reuniones, tal como se indica en la Figura 1.5.



**Figura 1.69.** Salón 216B nuevo diseño

Al contar con diferentes espacios de trabajos, las actividades a desarrollarse en cada uno también son distintas:

#### **AULA DE CLASES:**

- Clases
- Exposiciones
- Pruebas
- Receso

#### **SALA DE REUNIONES:**

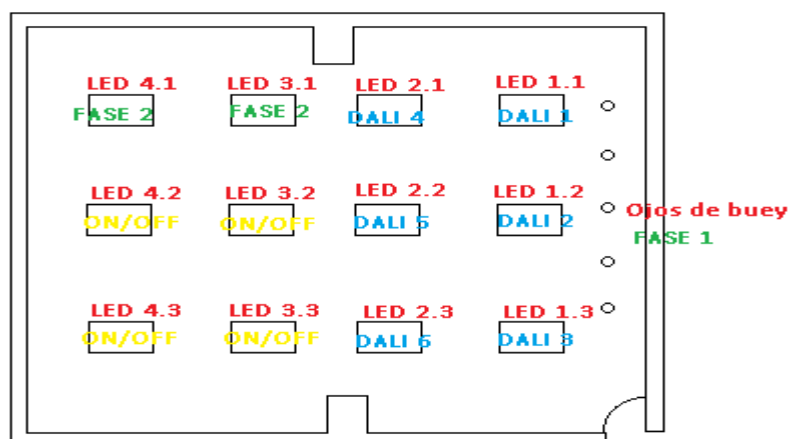
- Reuniones
- Conferencias
- Trabajos varios

#### **LABORATORIO:**

- Trabajos de oficina
- Desarrollo Proyectos

### 1.3.14 DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE ILUMINACIÓN

Debido a que en cada uno de los espacios de trabajo se van a realizar distintas actividades, los niveles de iluminación también son distintos, por lo cual se desarrollan distintos controles de iluminación. En la Figura 1.70 se observa como cada espacio de trabajo cuenta con los siguientes tipos de control de iluminación propuestos:



**Figura 1.70.** Distribución de los sistemas de iluminación en el Aula 216B

- Se dispone de un aula de clases con dimerización mediante el protocolo de comunicación digital de iluminación DALI. Además, de cinco luminarias dimerizables. vistos en la Figura 1.3, el cual su iluminación dependerá de la actividad en este espacio. La iluminación en el aula de clases funcionará acorde a las siguientes actividades como clases, exposición, prueba y receso.
- Se dispone de una sala de reuniones con dimerización por fase que variará la iluminación según lo requieran.
- Por último, se tiene un espacio que se emplea como laboratorio y funciona con un sistema de iluminación ON/OFF mediante relés.

Cabe recalcar, que previo al ingreso del aula 216B dispone de una pantalla táctil con la cual se podrá realizar el control de iluminación definido en base a las necesidades de los usuarios registrados.



## 2 METODOLOGÍA

El presente trabajo utiliza la investigación aplicada ya que se enfoca en la resolución de problemas a fin de mejorar la eficiencia energética y el nivel de iluminación del salón 216B del EARME. Este capítulo presenta la fase de diseño, donde se menciona detalladamente los circuitos de iluminación para los tres espacios de trabajo, especificación de luminarias, diseño de los circuitos eléctricos y electrónicos del sistema, la comunicación del sistema y el detalle del software de todos los elementos que conforma el sistema de control de iluminación. Además, se presentan las tarjetas de control desarrolladas con cada uno de sus elementos.

Se debe considerar que el sistema de iluminación se adaptó al espacio existentes y a las conexiones eléctricas actuales, para evitar en lo menos posible modificaciones constructivas no consideradas para el espacio de trabajo.

### 2.1 DISEÑO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE CONTROL

#### 2.1.1 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA

Debido a la nueva disposición de los espacios dentro del Salón 216B, se realizó la modificación de los circuitos de iluminación, para un uso más eficiente.

En la Figuras 2.1 se observa las conexiones eléctricas modificadas de los circuitos de iluminación, se tiene 4 zonas de iluminación: dos en el aula de clases, uno en el laboratorio y otra en la sala de reuniones.

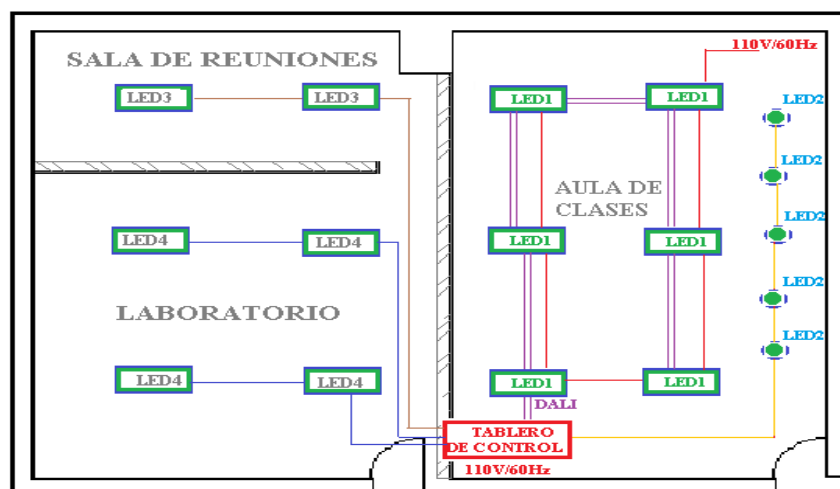


Figura 2.1. Conexión eléctrica del sistema de iluminación

Donde:

- LED 1: representa paneles led de 50 W dimerizable con control DALI.
- LED 2: representa el led dicroico de 6 W dimerizable con control por chopper.
- LED 3: representa paneles led de 50 W dimerizable con control por fase.
- LED 4: representa paneles led de 50 W con control on/off.

## 2.1.2 ESPECIFICACIÓN DE LUMINARIAS

Las luminarias fueron especificadas en base a las dimensiones y características de las lámparas instaladas actualmente. Lo que se realiza es buscar una opción más eficiente y que nos permita adaptarlas a las necesidades de control de iluminación que se desarrollan.

Para poder reemplazar las luminarias de tubos fluorescentes T5 y las luminarias halógenas, la mejor opción por eficiencia energética son luminarias LED. Los paneles leds permiten un alto rendimiento energético, iluminación uniforme y además de un incremento de la vida útil de las mismas. Además, se lo puede también disponer de luminarias dimerizables que incrementan las ventajas energéticas de este tipo de luminarias.

Para cada una de las áreas se especificó un diferente tipo de luminaria acorde a las necesidades de funcionamiento y actividades a realizarse de las mismas.

### 2.1.2.1 LUMINARIAS AULA DE CLASES

Para el aula de clases dado que se pretende tener diferentes escenas de iluminación, y atenuar las mismas, se especifica Paneles LED de 60 x 120 cm en reemplazo de los tubos fluorescentes T5 de 32 W. Para la modificación de las luminarias halógenas de igual forma se realiza su correspondiente reemplazo a luminarias Led.

#### 2.1.2.1.1 Paneles Led

Los paneles Led como el presentado en la Figura 2.2, poseen varias características técnicas que los vuelven mucho más eficientes que otros tipos de luminarias, entre ellos destaca su eficiencia energética y la reducción total de mercurio que se tenía con las anteriores luminarias.



**Figura 2.2.** Panel led [26]

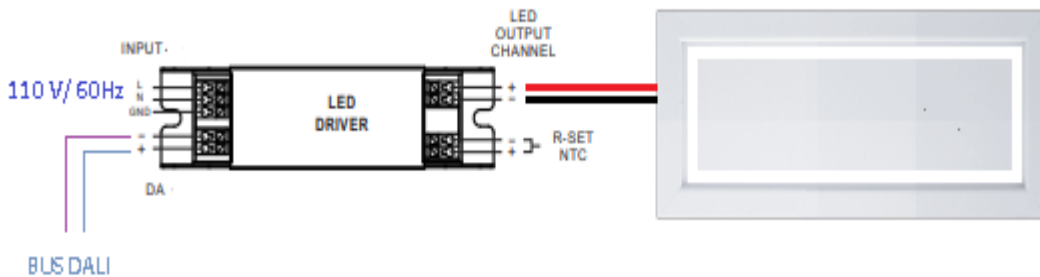
**Tabla 2.1.** Características de los paneles leds Aula de Clases [26]

Descripción	Ledex L1071
Dimerizables	SI
Potencia	50 W
Temperatura de color	5000 K
Lúmenes	5000 LM
CRI	> 80
Eficiencia	100LUM/W
Corriente	1050 mA
Frecuencia	50 / 60 Hz
Factor de potencia AFP	> 0.9
Ángulo de apertura	110 °
Horas de servicio	50000 h
Medidas	605 x 1210 mm
Norma IP	IP20

Para esta área está especificado un sistema de control de iluminación que pueda controlar las luminarias a través de un protocolo de comunicación digital, en este caso DALI, por lo cual para estas luminarias se especificó drivers DALI.

### Conexión driver DALI con Paneles Led

Para los paneles led del aula de clase se especifica drivers programables DALI, para poder tener un control digital de las luminarias.



**Figura 2.3.** Conexión Paneles Led con drivers DALI [26]

Por la potencia que manejan, aun siendo mucho menor que los tubos fluorescentes, es más complicado dimerizarlas por un método de atenuación por fase. El control del mismo se lo hace de forma digital, direccionando cada uno de los drivers.

Los drivers dali ,poseen las siguientes características generales [27]:

- Protección IP65 para exteriores.
- Posee voltajes de entrada a 120, 277 y 347 V.
- Varios métodos de programación.
- Amplio rango de corriente controlado.
- Tiene funciones avanzadas, entre ellas: atenuación por pasos, curva de atenuación, atenuación a apagado, etc.
- Programación automática.

**Tabla 2.2.** Características del driver DALI [27]

<b>Descripción</b>	<b>T1A1UNV105P-40E</b>
Voltaje entrada alterno	120-277 V
Frecuencia	50 / 60 Hz
Corriente de entrada	0.41 A a 120 V
Potencia de entrada	47 W
Entrada NTC programable	1 – 5 kΩ
Factor de potencia	> 0.92
Distorsión armónica THD	< 10 %
Eficiencia a plena carga	85 %
Tipo de controlador	Corriente constante
Voltaje de salida continuo	10 – 38 V
	10 – 40 V
	10 – 57 V
Corriente de salida continuo	0.25 – 1.05 A
	0.1 – 0.25 A
	0.25 – 0.7 A
Canales de salida	1 canal
Tipo de salida	Clase 2
Temperatura de operación	-40 a 60 °C
Horas de servicio	50000 h

#### 2.1.2.1.2 Dicroicos Led

Para el cambio de los focos dicroicos halógenos dimerizables, se los reemplaza por dicroicos de retrofit de led.



**Figura 2.4.** Dicroico led [27]

Entre las principales características, se tiene:

- Luz cálida
- Consumo: 6W (equivalen a 50W de luminarias incandescentes)
- Lúmenes: 550 LM
- Temperatura de color: 3000K
- Ángulo apertura: 36°
- Vida útil: 25.000HS
- Dimerizable: SI
- Tensión: 110V 50/60Hz
- Dimensiones: 60mm (alto) x 50mm (ancho)
- Base: GU10

#### 2.1.2.2 LUMINARIAS LABORATORIO

Para este espacio se emplea Paneles led para reemplazar los tubos fluorescentes, este espacio no cuenta con un ingreso de luz natural, por lo cual la mayor parte de tiempo las luminarias pasarán encendidas en su totalidad, por este motivo en este espacio el control es un switcheo suave que cuenta con las siguientes características visto en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3.** Características de los paneles leds para Laboratorio [27]

Descripción	L1082
Potencia	50 W
Temperatura de color	6500 K
Lúmenes	4600 LM
CRI	> 80
Voltaje	120 – 240 V
Frecuencia	50 / 60 Hz
Factor de potencia AFP	> 0.9
Ángulo de apertura	110 °
Horas de servicio	30000 h
Medidas	605 x 1210 mm
Norma IP	IP20

### Conexión driver ON/OFF con Paneles Led

Debido a que en este espacio se lo va a controlar mediante relés, el driver empleado ON/OFF es el que viene de fábrica, visto en la Figura 2.4 y sus características en la Tabla 2.4.



**Figura 2.5.** Conexión driver ON/OFF a Paneles Led

**Tabla 2.4.** Características driver On/OFF [27]

Descripción	L1071
Potencia	50 W
Voltaje	120 – 240 V
Norma IP	IP20
Frecuencia	50 / 60 Hz
Dimerizable	No
Corriente	600mA

### 2.1.2.3 LUMINARIAS SALA DE REUNIONES

En la sala de reuniones se tiene a su costado, un ventanal en toda la pared, en este espacio se especifica luminarias dimerizables por fase.

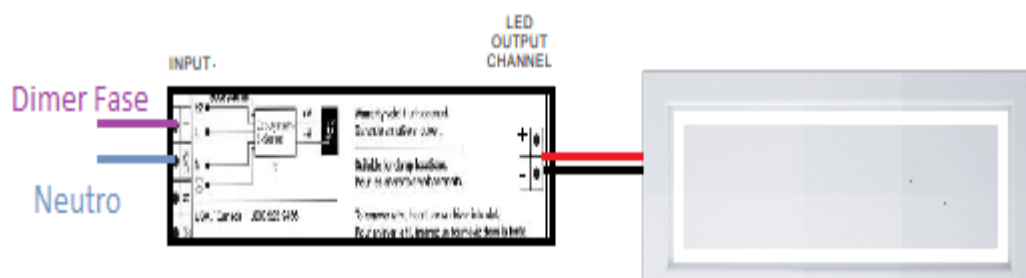
**Tabla 2.5.** Características del panel L1084 [27]

Descripción	L1084
Potencia	50 W
Temperatura de color	5500 K
Lúmenes	4600 LM
CRI	> 80
Voltaje	120 – 240 V
Frecuencia	50 / 60 Hz
Factor de potencia AFP	> 0.9
Ángulo de apertura	110 °
Horas de servicio	30000 h
Medidas	605 x 1210 mm
Norma IP	IP20

Para realizar la atenuación de la luminaria por fase, es necesario un controlador atenuable.

#### Conexión driver dimerizable por fase con Paneles Led

Se utiliza un controlador dimerizable por fase tal como se indica en la Figura 2.5. Este dispositivo es un controlador de alto rendimiento, atenuación suave, continua y sin parpadeo.



**Figura 2.6.** Conexión driver dimerizable con Paneles led [28]

Entre las características principales de este tipo de driver se tiene:

**Tabla 2.6.** Características del driver por fase [28]

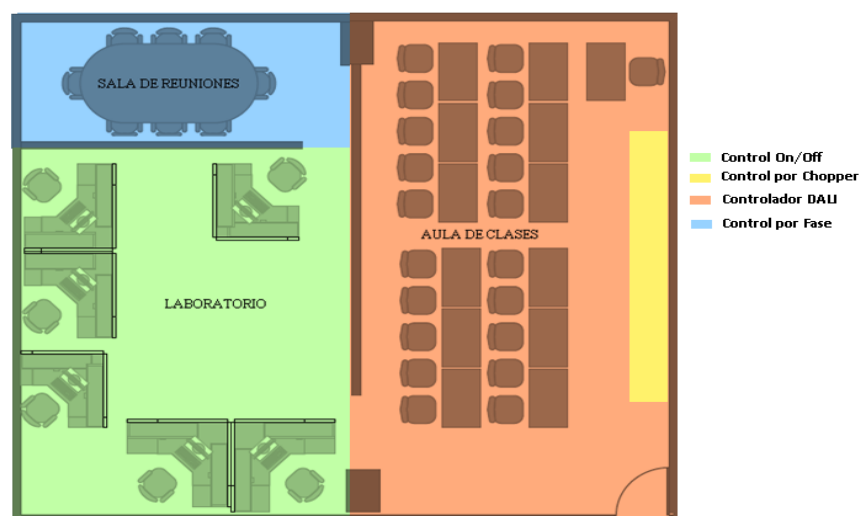
Descripción	LTEA4U1UKS-1ABLK
Conexión	2 hilos
Voltaje alterno de entrada	120 V
Corriente de entrada	0.45 A
Frecuencia	50 / 60 Hz
Potencia máxima	49 W
Voltaje de salida	30 – 60 V
Corriente de salida	0.2 – 1 A
Horas de servicio	50000 h

### 2.1.3 CONEXIONES ELÉCTRICAS LUMINARIAS

Para presentar y dar a conocer también los distintos tipos de control de iluminación que existen actualmente, se ha desarrollado cuatro tipos de control de iluminación para este proyecto.

- Control por Fase para control de 2 Paneles led
- Control por Chopper para control de 5 dicroicos leds
- Control DALI para control de 6 Paneles led
- Control On/Off para control de 4 Paneles led

Cada uno de los circuitos de iluminación tiene conexiones distintas ya que su control también es distinto.



**Figura 2.7.** Tipos de Control de iluminación en el Proyecto [28]



### 2.1.3.1 CONEXIÓN ELÉCTRICA LUMINARIAS AULA DE CLASES

#### 2.1.3.1.1 Paneles led con control DALI

Mediante el empleo de un microcontrolador AVR se genera señales DALI para que se pueda comunicar con los drivers dali conectados a los paneles led. En el capítulo de controles se presenta la forma de generar las señales DALI a través de la comunicación Manchester.

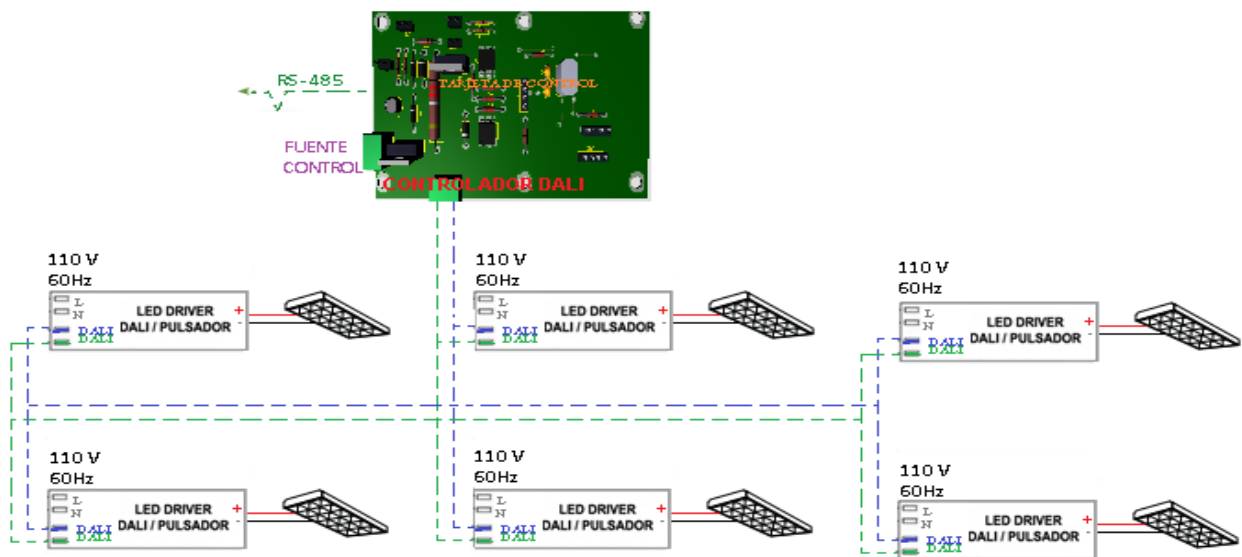


Figura 2.8. Conexión eléctrica luminarias DALI [28]

Una de las ventajas de este tipo de control es que se lo realiza a través de un solo BUS de comunicación.

#### 2.1.3.1.2 Dicroicos led con control CHOPPER

Para el control de estas luminarias, hay que considerar que toda luminaria Led requiere un driver, los dicroicos leds se los denomina retrofit de led. Por lo cual las alimentaciones de estas son de 110V.

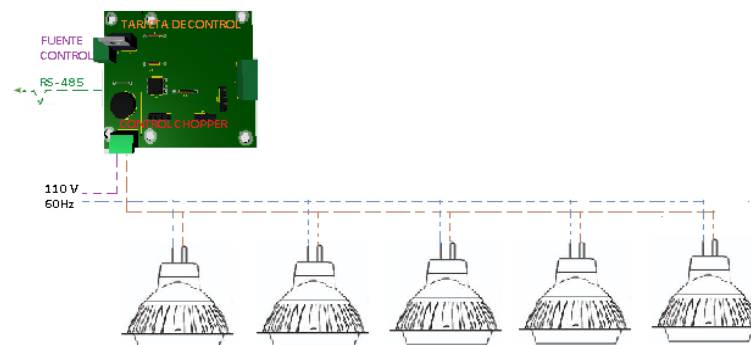


Figura 2.9. Dicroicos led con control CHOPPER [28]

La potencia que consumen estas luminarias es sumamente baja, por lo cual es factible realizar este tipo de control, todas las luminarias se conectan en paralelo,

### 2.1.3.2 CONEXIÓN ELÉCTRICA LUMINARIAS LABORATORIO

#### 2.1.3.2.1 Paneles led con control ON/OFF

Para el laboratorio se tiene un apagado suave mediante el empleo de relés. En este espacio se tiene 2 zonas de iluminación debido a la distribución de los puestos de trabajo, por lo cual se puede encender independientemente cada circuito.

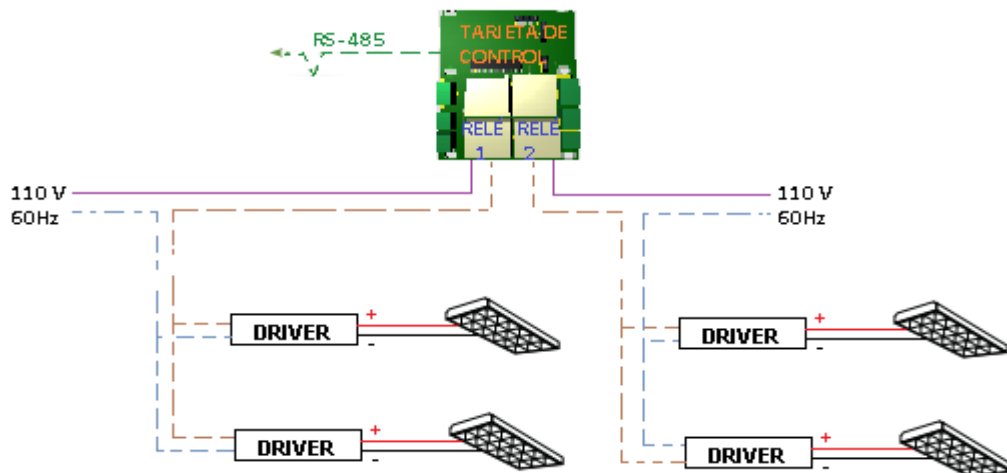


Figura 2.10. Paneles led con control ON/OFF [28]

Para este espacio se escogió este tipo de control debido a que el mismo no cuenta directamente con ingreso de luz natural, por lo cual en la mayor parte del tiempo la luminaria se requiere se encuentren encendidas en su totalidad.

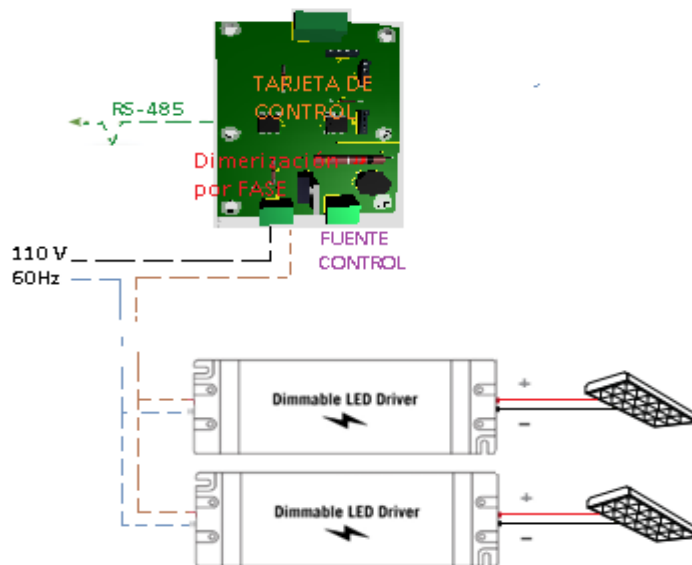
Los relés tienen la función de ser interruptores que se activa o desactivan de acuerdo a los requerimientos tanto de sensores como de los controles manuales.

Esta tarjeta se comunica con las demás a través de comunicación RS-485.

### 2.1.3.3 CONEXIÓN ELÉCTRICA LUMINARIAS SALA DE REUNIONES

#### 2.1.3.2.1 Paneles led con control de FASE

En la sala de reuniones se cuenta con 2 paneles led dimerizables, los cuales para su control se los conectó con drivers dimerizables por fase. Debido a la potencia que consumen cada uno de los paneles, el control se lo realiza mediante el empleo de un Mosfet.



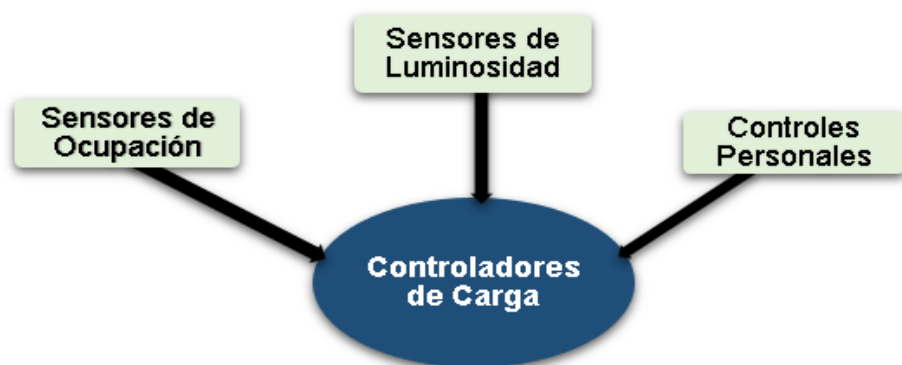
**Figura 2.11.** Paneles led con control por FASE [28]

Estas luminarias se conectan en paralelo, por lo que el control en este caso debe soportar la potencia de ambos paneles.

## 2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA

### 2.2.1 DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Una vez considerado las características y requerimientos que se tienen en cada uno de los espacios del salón 216B, se realiza un diseño del sistema de control de iluminación que contemple cada uno de los requerimientos y funciones que se debe tener



**Figura 2.12.** Distribución del sistema de control de iluminación

Acorde a los requerimientos de cada uno de los espacios y las actividades que se realizarán en el mismo, el control de las luminarias es diferente para cada área de trabajo.

### 2.2.1.1 CONTROLADORES DE CARGA

Hace referencia a los equipos que se conectan directamente hacia las luminarias, reciben órdenes tanto de los sensores como de los controles personales:

- **Módulo de Control DALI**

Para poder tener un control personalizado de los 6 Paneles led con drivers DALI, y que pueda establecer una comunicación mediante un Bus y recibir comandos para ejecutar las acciones que se requieran.

- **Módulo de Control de atenuación por Fase**

Para poder tener un control personalizado de los 2 Paneles led con drivers dimerizables de la Sala de Reuniones se tiene este módulo, el cual permite dimerizar las luminarias y llegar a los niveles de iluminación que requieran. Además, debe recibir las órdenes tanto de sensores como controles personales.

- **Módulo de Control de cargas On /off**

Para poder tener un control del área del Laboratorio para los 4 Paneles led con drivers no dimerizables, por lo que se tendrá en este espacio una escena de apagado y otra de encendido acorde a la ocupación o desocupación del espacio de trabajo.

- **Módulo de Control de atenuación por Chopper**

Para poder tener un control de las 5 luminarias dicroicas, el cual permita dimerizar las luminarias y llegar a los niveles de iluminación que requieran. Además, debe recibir las órdenes tanto de sensores como controles personales.

### 2.2.1.2 SENSORES DE MOVIMIENTO

Se tiene un sensor de movimiento por cada una de las áreas.

Hay dos formas de trabajar con los sensores de movimiento:

**Ocupancia:**

Encendido automático y apagado automático.

**Vacancia:**

Encendido manual y apagado automático.

Para el Proyecto se programó el funcionamiento de los mismos para que trabajen de forma manual y automática, habilitándola a través del sensor biométrico.

**Modo Manual:** Sensores desactivados y prevalece escenas seleccionadas en Controles

personales.

**Modo Automático:** Sensores activados, el encendido y apagado de las luminarias es automático.

### 2.2.1.3 SENSORES DE LUMINOSIDAD

Los sensores de luminosidad se encuentran instalados en las áreas donde se encuentran ventanales. Tanto el Aula de clases como la Sala de Reuniones permiten la atenuación de las luminarias con el ingreso o ausencia de luz natural.

### 2.2.1.4 CONTROLES PERSONALES

Pese a que el funcionamiento del sistema debería depender sólo de los sensores de movimiento con la presencia o ausencia de personas dentro del espacio, es necesario tener un control local para la modificación de escenas.

## 2.2.2 UBICACIÓN EQUIPOS DE CONTROL

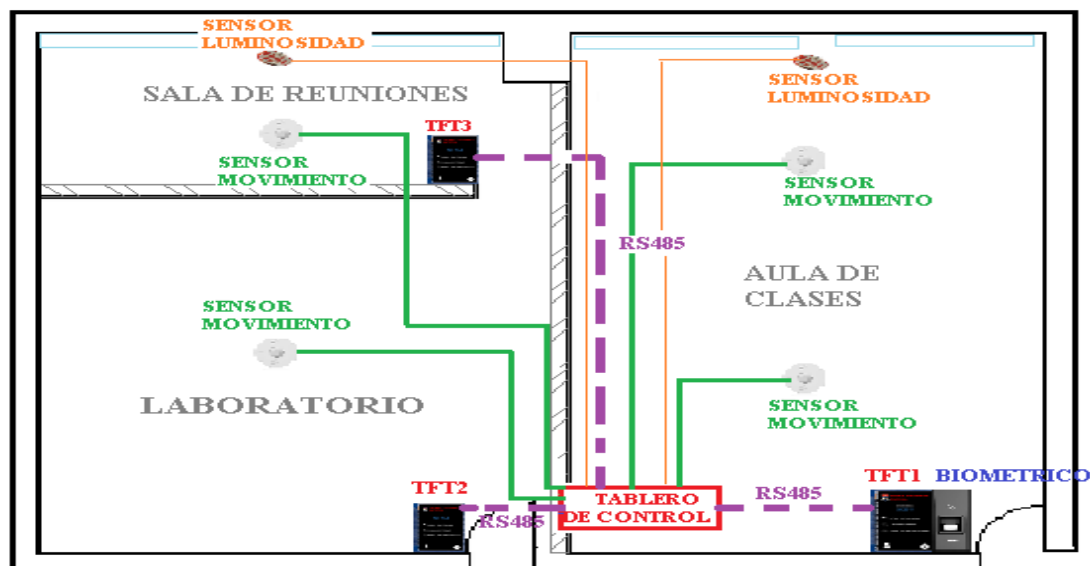


Figura 2.13. Sistema de control de iluminación

Donde cada espacio de trabajo posee los siguientes elementos:

- La sala de reuniones consta de una pantalla táctil, un sensor de movimiento y un sensor de luminosidad.
- El laboratorio consta de una pantalla táctil y un sensor de movimiento.

- El aula de clases posee dos sensores de movimiento, un sensor de luminosidad, una pantalla táctil y un sensor biométrico.
- Todas las pantallas táctiles se comunican a través del protocolo de comunicación RS-485.
- El Tablero de Control se encuentra ubicado en la división de los dos espacios.

### 2.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

#### El usuario entra:

Las luces no necesariamente se encienden automáticamente cuando un usuario entre en la sala. Las luces se pueden encender mediante el sensor o manualmente. El nivel máximo de iluminación está configurado al 90 %.

#### Cuando la sala está ocupada:

**Automático:** Las luces del techo se regulan en función de la cantidad de luz natural disponible. Hay una zona perimetral de luz natural.

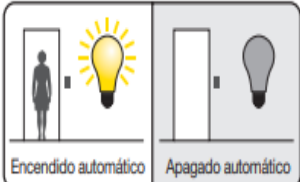
**Manual:** El usuario utiliza las pantallas TFT integrados en la pared para configurar a su gusto las escenas de iluminación de las luces generales de cada espacio y a través de los controles personales.

Para tener acceso al modo manual y modificar las escenas, el usuario debe estar registrado y detectado por el sensor biométrico.

#### El usuario desaloja la sala:

Todas las luces se apagan automáticamente 15 minutos. después de que todas las personas hayan salido.

#### 2.2.3.1 ESTRATEGIAS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN ENFOCADAS AL AHORRO ENERGÉTICO

Estrategia	Ahorro potencial
	<p>Los sensores de ocupación/vacante encienden las luces cuando las personas entran a un lugar y las apagan cuando salen.</p> <p>De un 20 a un 60 % de iluminación.</p>



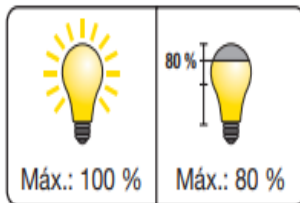
El aprovechamiento de luz natural regula la iluminación eléctrica cuando la luz del sol puede aprovecharse en un espacio.

De un 25 a un 60 % de iluminación.



La programación horaria ofrece cambios programados en los niveles de iluminación dependiendo de la hora del día.

De un 10 a un 20 % de iluminación.



La definición del límite alto/ajuste establece el máximo lumínico según necesidades de usuario en cada espacio.

De un 10 a un 30 % de iluminación



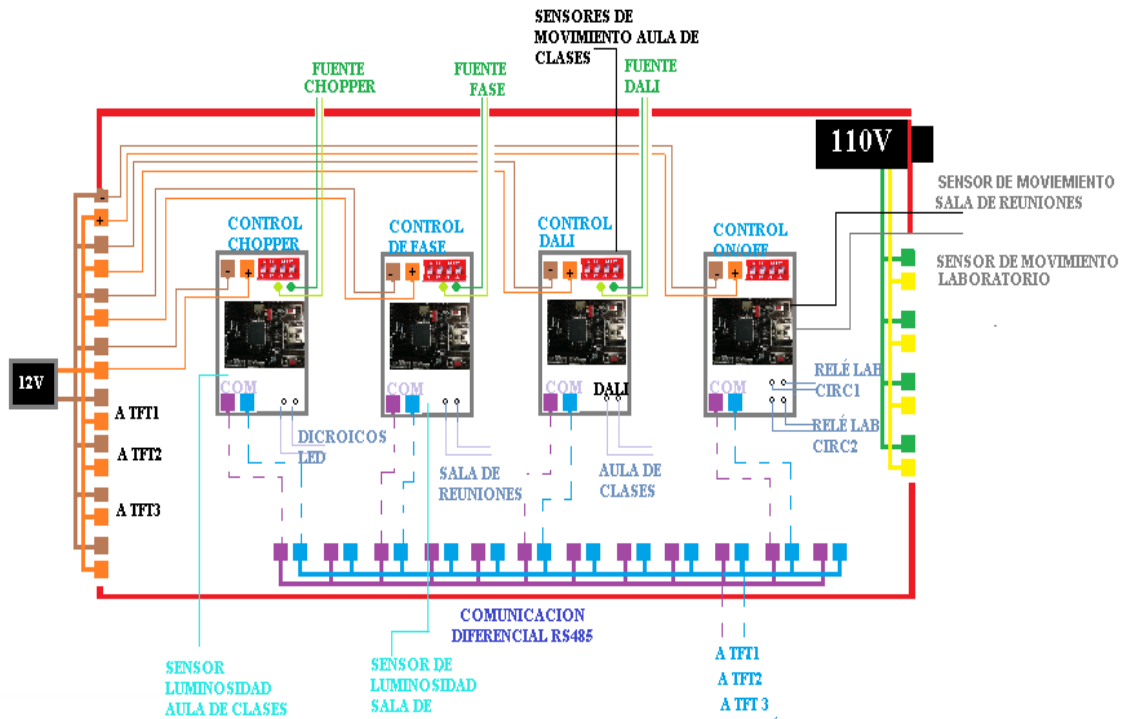
El control manual ofrece a los usuarios la posibilidad de establecer el nivel de iluminación apropiado para la actividad a realizar.

De un 10 a un 20 % de iluminación

## 2.2.4 DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA

El sistema de control de iluminación de todo el salón 216B a pesar de que su sistema es descentralizado, se realiza la distribución dentro de un tablero de control.

En el tablero de control presentado de la Figura 2.10, se encuentra las borneras de alimentación para cada una de las tarjetas de control ubicado en la parte izquierda, mientras que al extremo derecho se tiene una fuente de 110 V, que ayuda a la alimentación de los circuitos de potencia. Además, posee borneras en la parte inferior para la comunicación RS-485 para cada una de las tarjetas de control.



**Figura 2.14.** Diseño tablero de Control

El sistema de control posee un modelo de tarjeta estándar para cada una de las funciones que se requieren y comunicadas entre ellas a través de la comunicación RS-485. Se dispone de tarjetas de control para las siguientes funciones:

- Control de luminarias DALI y sensores de movimiento del aula de clases.
- Dimerización de lámparas LED mediante CHOPPER y se conecta el sensor de luminosidad del Aula de Clases.
- Control de relés para luminarias ON/OFF, sensores de movimiento del Laboratorio y de la sala de reuniones.
- Control de luminarias dimerizables por FASE y sensor de luminosidad para esta área.
- Control TFT para el laboratorio.
- Control TFT para la sala de reuniones.
- Control TFT para el aula de clases y sensor biométrico.



## 2.2.5 CONEXIONES TARJETAS DE CONTROL DEL SISTEMA







Las partes fundamentales del sistema de control de iluminación son las siguientes:

- Un sensor de movimiento colocado en cada una de las diferentes zonas o áreas.
- Un sensor de luminosidad en los espacios con ventanas para el aprovechamiento de la luz natural.
- Un controlador que analice en que instante se deben encender o modificar la iluminación.
- Controladores de carga o actuadores que se encarguen de activar las zonas de iluminación, cuando el controlador lo decida.
- Una interfaz para acceder a distintas escenas o tener un control personalizado.
- Un dispositivo para acceder a las funciones del sistema, en este caso un sensor biométrico.

Para el desarrollo de este Proyecto, el sistema de control de iluminación se encuentra constituido por:




### AULA DE CLASES

**Tabla 2.7.** Controles y equipos Aula de Clases

EQUIPO	DETALLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Tarjeta de control mediante protocolo dali	Tarjeta de control con comunicación dali para control paneles led	1
	Tarjeta de control mediante chopper	Tarjeta de control mediante chopper para luminarias dicroicas led	1
	Sensor de movimiento	Sensor de movimiento configurado a 15min en vacancia	2
	Sensor de luminosidad	Sensor de luminosidad	1
	TFT aula de clases	Tarjeta de control para TFT /funciona como control maestro del sistema	1
	Sensor biométrico	Bloquear y desbloquear pantalla TFT/generar escenas con huellas dactilares	1





## LABORATORIO

**Tabla 2.8.** Controles y equipos Laboratorio

EQUIPO	DETALLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Tarjeta de control mediante relés	Tarjeta de control mediante relés para paneles led	1
	Sensor de movimiento	Sensor de movimiento configurado a 15min en vacancia	1
	TFT aula de clases	Tarjeta de control para TFT /funciona como control maestro del sistema	1

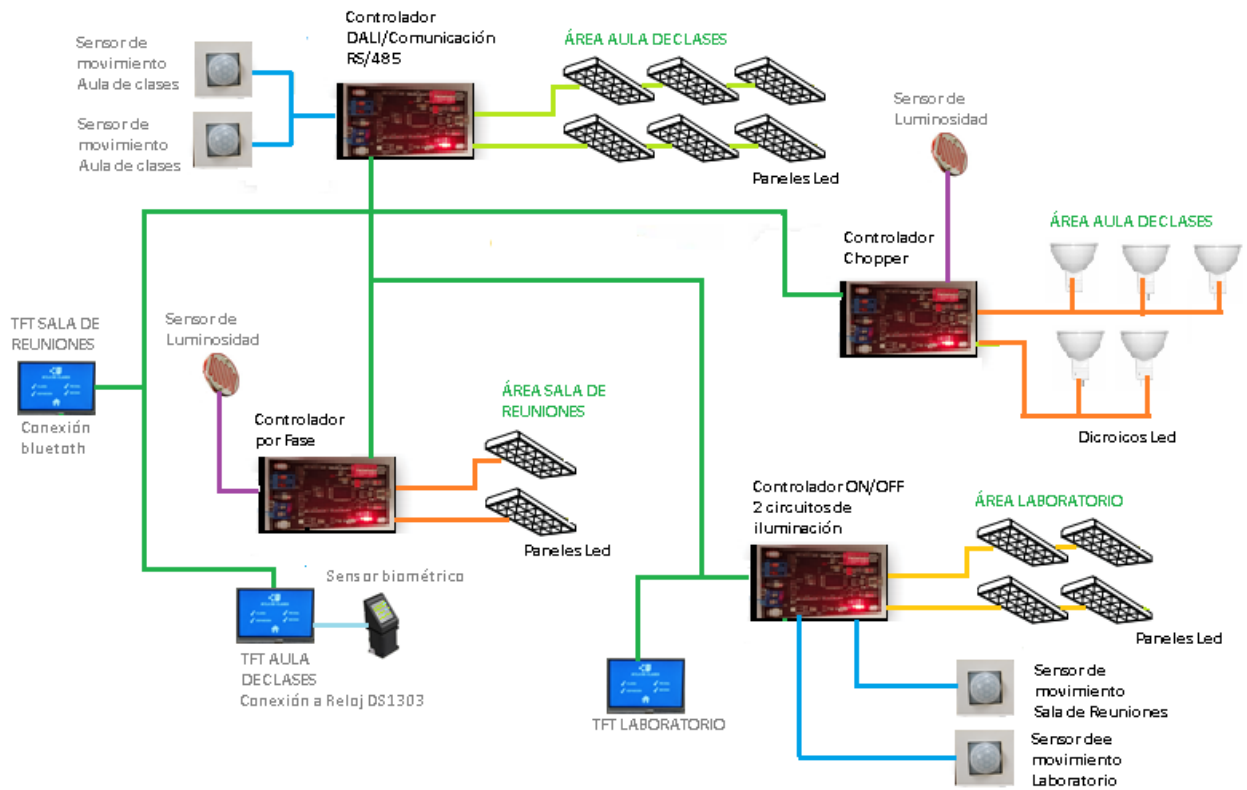
## SALA DE REUNIONES

**Tabla 2.9.** Controles y equipos Sala de Reuniones

EQUIPO	DETALLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Tarjeta de control mediante dimerización por fase	Tarjeta de control con comunicación dali para control paneles led	1
	Sensor de movimiento	Sensor de movimiento configurado a 15min en vacancia	1
	Sensor de luminosidad	Sensor de luminosidad	1
	TFT aula de clases	Tarjeta de control para TFT / funciona como control maestro del sistema	1

### 2.2.5.1 CONEXIONES DISPOSITIVOS DE CONTROL

Todos los equipos de control se encuentran comunicados entre sí mediante el enlace de RS-485.



### CONEXIONES

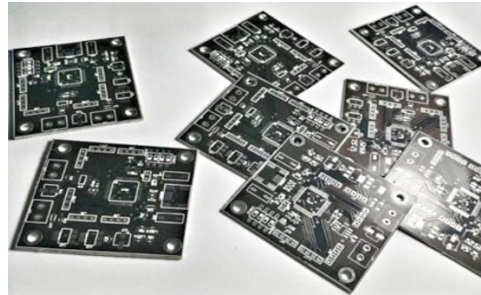
- Enlace de comunicación RS 485
- Conexión de sensores
- Circuito cerrado de drives DALI
- Circuito de Potencia atenuada
- Circuito de potencia switcheada
- ADCs sensores luminosidad
- Comunicación Serial

**Figura 2.15.** Esquema de Conexiones del Sistema de Control

### 2.2.6 DISEÑO TARJETAS DE CONTROL DEL SISTEMA

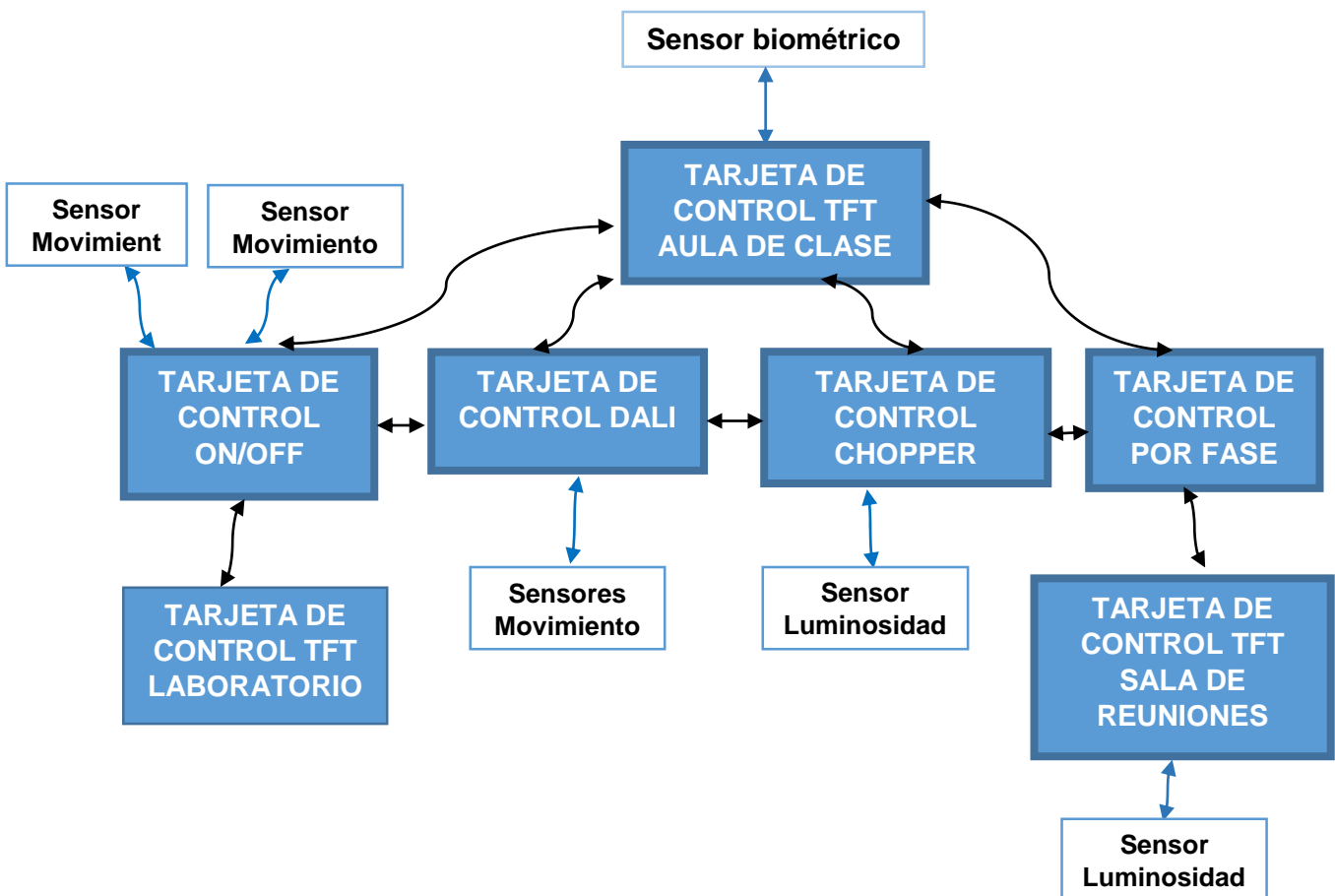
Para poder entender mejor el Funcionamiento y Conexiones del sistema de Control de iluminación.

Se diseñó y se desarrolló una tarjeta de Control con un microcontrolador ATXmega que es la misma para cada uno de los controladores del sistema.



**Figura 2.16.** Tarjetas de Control diseñadas

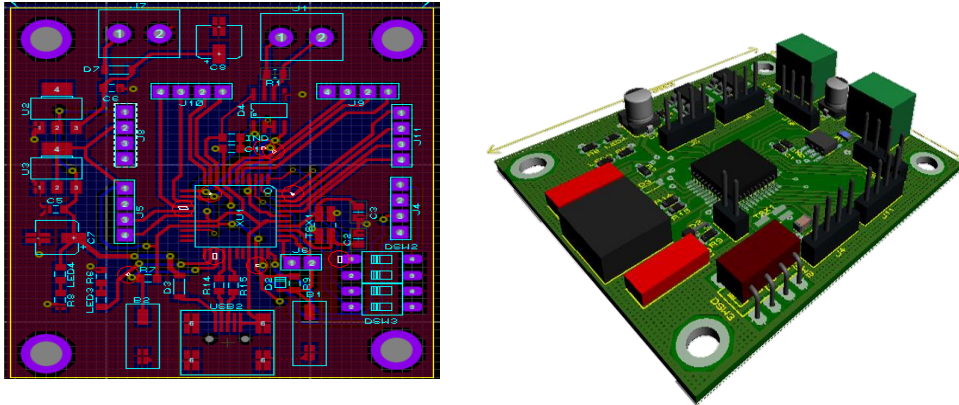
Se tiene un total de 7 tarjetas de control intercomunicadas entre sí mediante un bus RS 485. Cada una de las tarjetas tiene un dip switch para identificarlas.



**Figura 2.17.** Detalle conexiones tarjetas de Control

### 2.2.6.1 DISEÑO TARJETA DE CONTROL GENÉRICA

En la Figura 2.9 se observa las placas diseñadas para las tarjetas de control genérica desarrollada para cada uno de los controles.

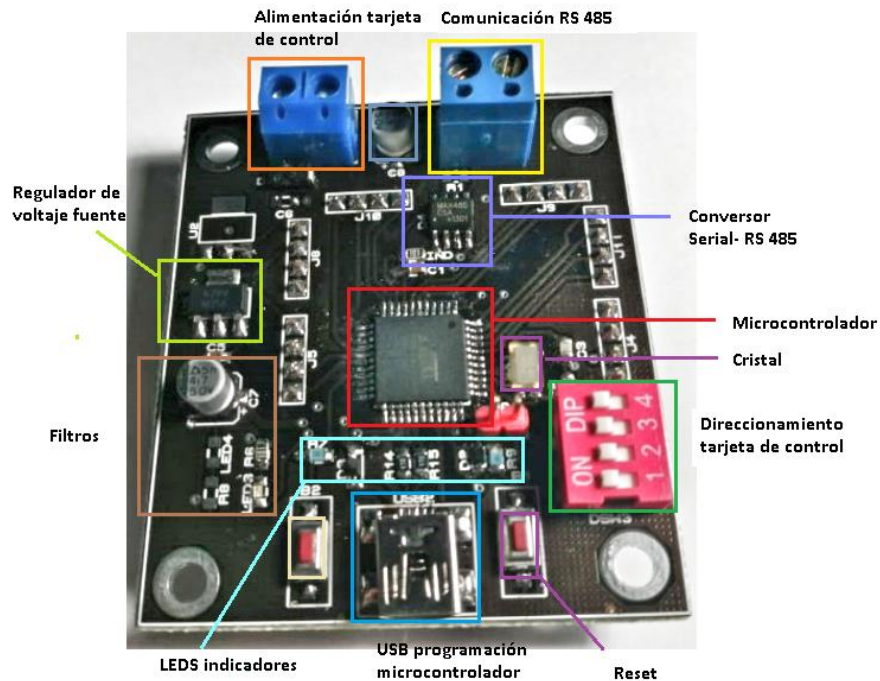


**Figura 2.18.** Diseño esquema electrónico para microcontrolador

Las placas fueron diseñadas con los elementos en SMD, para obtener una mejor distribución de los espacios.

Las pistas fueron consideradas para soportar la corriente máxima en este tipo de circuitos, hay que considerar que estas tarjetas únicamente sirven para control y comunicación de los elementos, la etapa de potencia se lo enlaza a esta tarjeta.

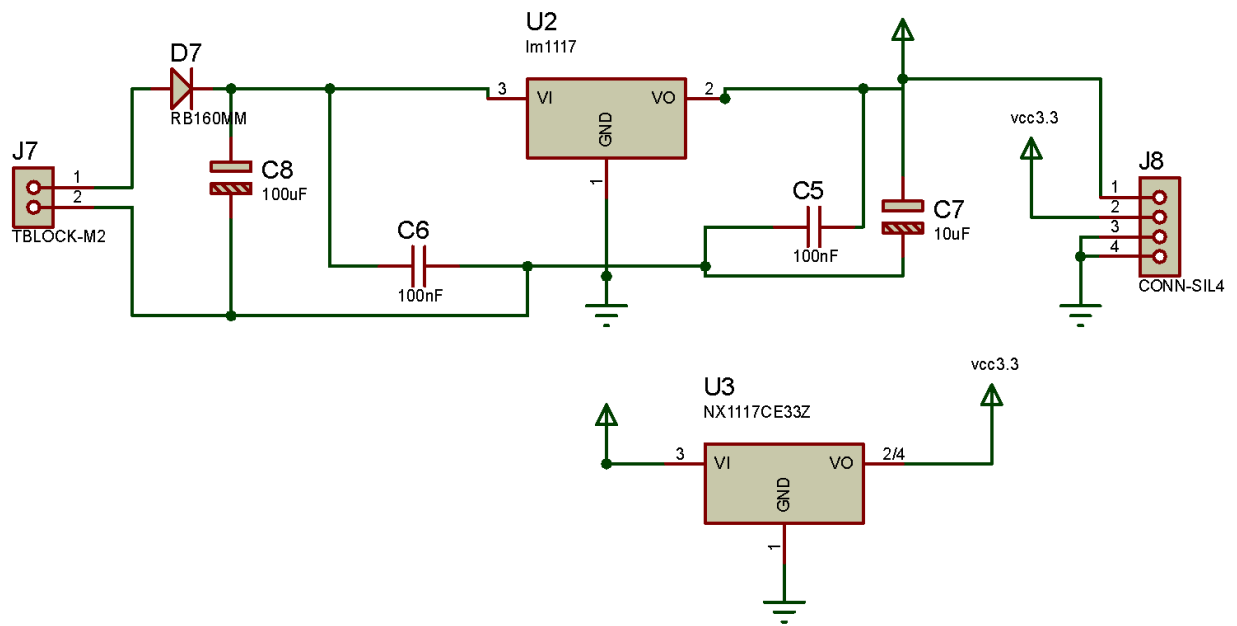
La distribución de los elementos de la tarjeta se describe en la siguiente imagen:



**Figura 2.19.** Distribución de elementos tarjeta de control

### 2.2.6.1.1 Fuente de alimentación

En la Figura 2.21 se dispone de dos reguladores de voltaje para la obtención de fuentes de alimentación para 5 y 3.3 V. Además, según las especificaciones del fabricante del microcontrolador, posee un diodo de protección ante el retorno de corriente y capacitores de 0.1, 10 y 100 uF para obtener una salida continua y eliminación de ruido. Los reguladores de voltaje utilizados son LM1117 que poseen características, vistas en la Tabla 2.11.



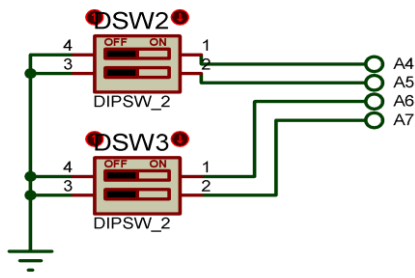
**Figura 2.20.** Fuente de alimentación

**Tabla 2.7.** Características del integrado LM1117 [32]

Descripción	LM1117
Pines de conexión	3
Voltaje de salida continuo	1.5, 1.8, 2.5, 2.85, 3, 3.3 y 5 V
Temperatura de operación	0 – 125 °C

### 2.2.6.1.2 Direccionamiento tarjetas de control

Cada dispositivo junto con la tarjeta de Control debe tener una dirección única desde 1 a 32. Los Interruptores de Dirección se pudieron haber establecido para dar las direcciones mostradas en la Figura 2.21.



**Figura 2.21.** Conexiones Dip switch para direccionamiento tarjetas

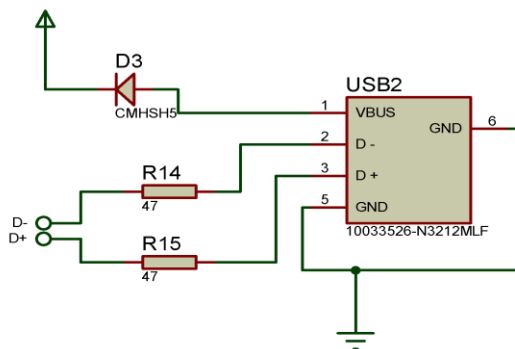
Las direcciones que toman cada una de las tarjetas son las siguientes: Se activan resistencias de Pull up.



**Figura 2.22.** Direccionamiento tarjetas de control

### 2.2.6.1.3 Conector USB

En la Figura 2.15, se escoge un conector mini USB que posee las siguientes características [35]:



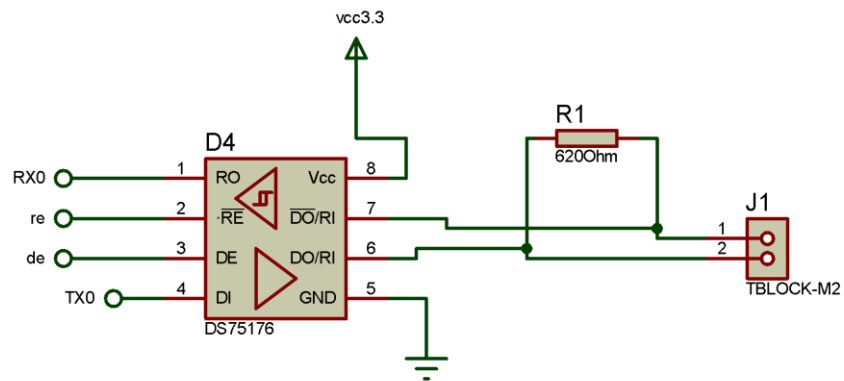
**Figura 2.23.** Conector USB 2.0

- Voltaje máximo: 30 V.
- Corriente máxima por contacto: 1 A.
- Montaje horizontal.

- Temperatura de funcionamiento: -25 a 85 °C.
- Carcaza de aleación de cobre.
- Clasificación de inflamabilidad del material: UL94 V-0.

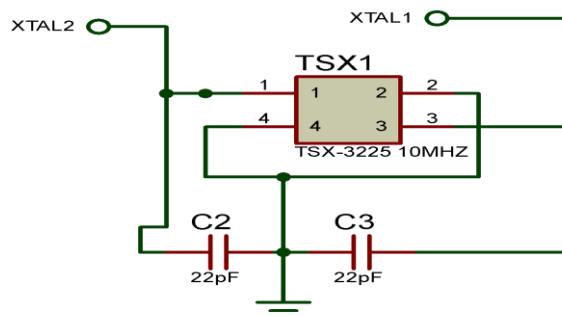
#### 2.2.6.1.4 Conversor RS-485 para comunicación

Cada dispositivo junto con la tarjeta de Control que debe ser asignada desde el 1 al 32. En la Figura 2.25 se puede apreciar el circuito de comunicación serial a RS 485.



**Figura 2.24.** Circuito conexión Serial – RS 485

#### 2.2.6.1.5 Cristal Externo microcontrolador



**Figura 2.25.** Cristal externo

Para el sistema de control se emplea un cristal externo de 8MHz.

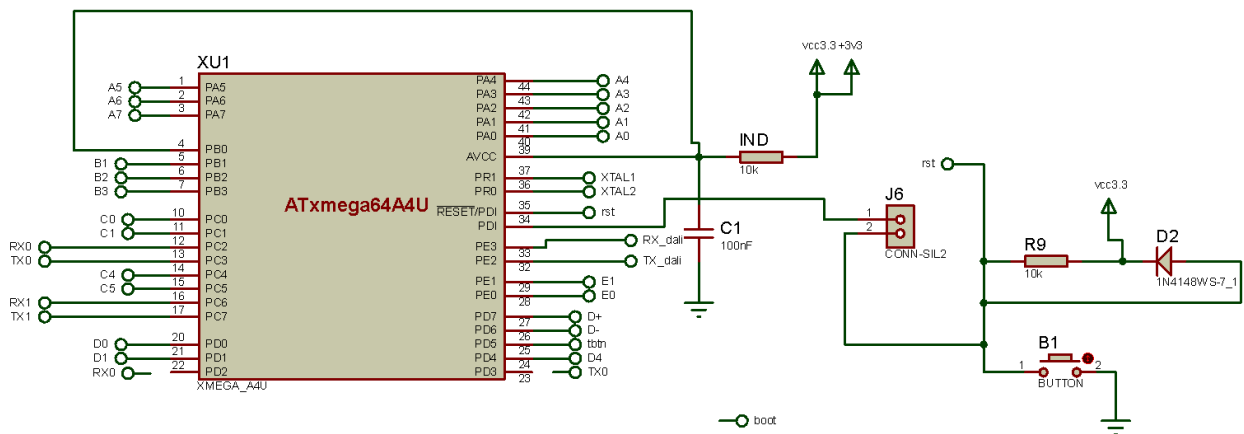
- Cinco contadores/timers de 16 bits.
- Un dispositivo de interfaz USB 2.0.



- Dos interfaces SPI.
- Dos interfaces I2C.

### 2.2.6.1.6 Microcontrolador ATxmega64A4U

En la Figura 2.27 se dispone de un microcontrolador ATxmega64A4U que dispone de las siguientes características [32]:



**Figura 2.26.** ATxmega64A4U [32]

- Memorias:
  - Flash: 64 Kbytes.
  - EEPROM: 2 Kbytes.
  - SRAM: 4 Kbytes.
- Fuente de alimentación: 1.6 – 3.6 V.
- Temperatura de operación: -40 a 85 °C.
- Osciladores internos de 32 KHz, 32.768 KHz, 2 MHz y 32 MHz.
- Oscilador externo entre 0.4 a 16 MHz, en este caso se utiliza un cristal externo de 10 MHz, visto en la Figura 2.18.

### 2.2.6.2 DISEÑO TARJETA DE CONTROL POR FASE

El control de fase se divide en tres etapas, un circuito detector de cruce por cero del voltaje alterno, un circuito de potencia formado por dos SCR y un circuito aislador entre los circuitos de control y potencia, denominado opto triac MOC3021; visto en la Figura 2.13.

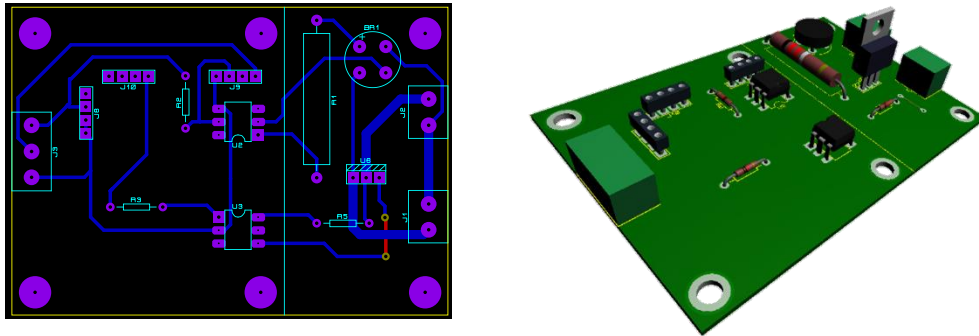


Figura 2.27. Diseño esquemático Controlador por Fase

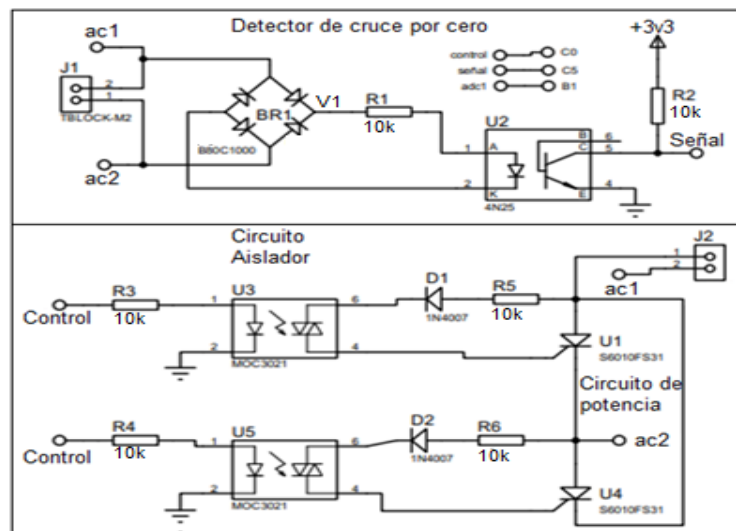


Figura 2.28. Diseño de control de fase

El cálculo de las resistencias del circuito detector de cruce por cero se realiza de la siguiente manera:

- Se escoge el voltaje pico de la red monofásica, visto en la Ecuación 2.1 [33]. El  $V_{rms}$  es de 120 V.

$$V_p = \sqrt{2}V_{rms} \quad (2.1)$$

Por tanto, el voltaje pico da como resultado:

$$V_p = \sqrt{2}(120) = 169.70 \text{ V} \quad (2.2)$$

- Luego del puente de diodos, el voltaje a su salida V1 posee una pequeña caída de voltaje debido a los dos diodos de cada semiciclo. El voltaje por cada diodo del integrado B80C1000 es de 1 V [32], por tanto,  $V_1 = 167,70$  V.
- Como siguiente paso, se realiza el cálculo de la resistencia R1, tomando en consideración las características del opto transistor 4N25 son:  $V_{ak} = 1.3$  V y  $I_{ak} = 60$  mA [32]. Para el cálculo de R1, se escoge una corriente menor, en este caso  $I_{ak} = 15$  mA.

$$R_1 = \frac{V_1 - V_{ak}}{I_{ak}} \quad (2.3)$$

$$R_1 = \frac{167.70 - 1.3}{15 \text{ mA}} = 11 \text{ k}\Omega \rightarrow R_1 = 10 \text{ k}\Omega \quad (2.4)$$

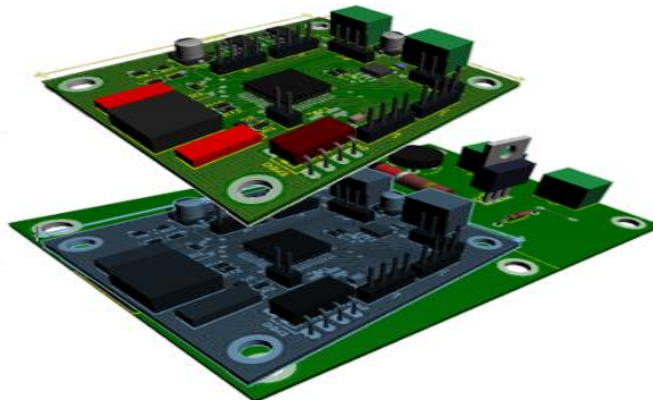
- La potencia de R1 se calcula con la Ecuación 2.3.

$$P_{R1} = \frac{(V_1 - V_{ak})^2}{R_1} \quad (2.5)$$

$$P_{R1} = \frac{(167.70 - 1.3)^2}{10000} = 2.77 \text{ W} \rightarrow P_{R1} = 5 \text{ W} \quad (2.6)$$

- Se escoge una resistencia  $R_2 = 10$  k $\Omega$ , de tal manera que se tiene una potencia de:

$$P_{R2} = \frac{(3.3)^2}{10k} = 1.089 \text{ mW} \rightarrow P_{R2} = 0.25 \text{ W} \quad (2.7)$$



**Figura 2.29.** Conexión tarjeta de control con tarjeta de potencia Control por FASE

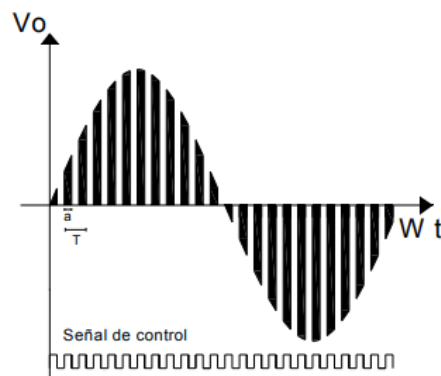
### 2.2.6.3 DISEÑO TARJETA DE CONTROL POR CHOPPER

Se tiene un circuito que independiza el control de la potencia, por medio del opto triac MOC3021, el cual posee características como:  $V_F = 1.15$  V,  $I_F = 60$  mA [32]. El cálculo de la resistencia R4 se realiza bajo la ley de ohm, similar a la Ecuación 2.2. Además, se escoge una corriente de 0.2 mA;

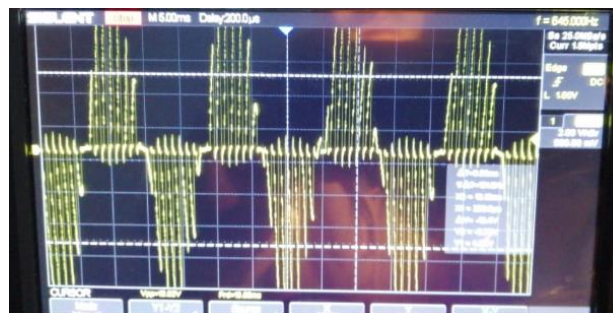
por último, se escoge una  $R_6 = 10\text{ k}\Omega$  y dos diodos  $D_1$  y  $D_2$  para evitar el retorno de corriente y proteger al circuito.

$$R_4 = \frac{3.3-1.15}{0.2\text{ mA}} = 10.75\text{ k}\Omega \rightarrow R_4 = 10\text{ k}\Omega \quad (2.8)$$

Al final se escoge un circuito de potencia AC/AC formador por 2 SCR, el cual tiene la finalidad de controlar la intensidad de luz [33]. Cabe añadir que se dispone de dos señales de control para realizar un control de fase chopper o troceador, el cual envía señales de periodo constantes a una relación de trabajo variable, tal como se indica en la Figura 2.14 [34].



**Figura 2.30.** Control chopper [34]

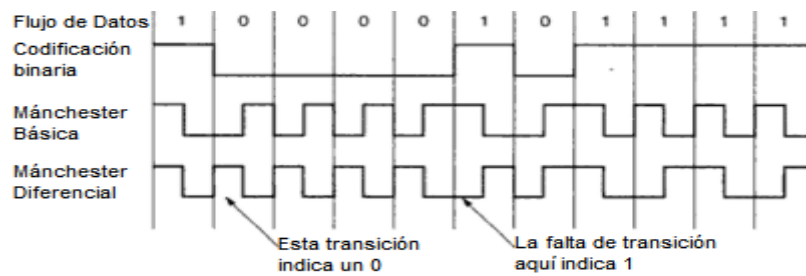


**Figura 2.31.** Control chopper señales de control [34]

#### 2.2.6.4 DISEÑO TARJETA DE CONTROL PARA PROTOCOLO DALI

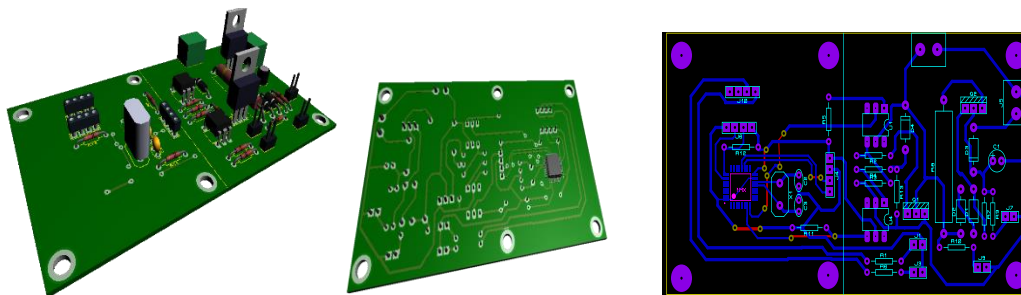
DALI utiliza codificación Manchester o bifásica para el envío de los bits de inicio e información [34]. Este tipo de codificación se utiliza para lograr determinar el comienzo, final, o mitad de cada bit alguna referencia a un reloj externo. Por cada periodo de bit, se puede dividir en dos intervalos, tal como se observa en la Figura 2.16. A diferencia de la codificación binaria, es que necesita el doble de ancho de banda. Existen dos tipos de comunicaciones Manchester: binaria y diferencial.

Esta última es una variación de la codificación básica; en cualquier caso, se tiene una transición a la mitad [36].

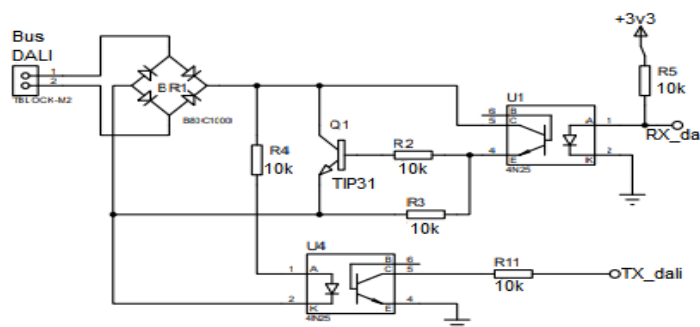


**Figura 2.32.** Codificación Mánchester básica y diferencial [36]

El funcionamiento de esta tarjeta está dado específicamente para realizar una comunicación Manchester que manejan los drivers DALI, realiza una transformación de Serial a Manchester.



**Figura 2.33.** Tarjeta Control DALI [29]



**Figura 2.34.** Control DALI

El funcionamiento del protocolo de comunicación digital DALI se lo desarrolla en base a instrucciones que el controlador maestro transmite a los drivers para cambiar su estado o realizar modificaciones.

En este protocolo se pueden presentar 4 tipos de instrucciones o comandos.

- 1) **Instrucciones de alimentación:** Configura la energización de los drivers.

- 2) **Instrucciones de configuración:** Configura los drivers. Se requiere que esta instrucción sea enviada por lo menos dos veces en un tiempo menor a 100 ms para que funcione correctamente y no sean ignorados.
- 3) **Instrucciones de consulta:** Mediante estos comandos el controlador maestro solicita información a los drivers, como el nivel de voltaje al que se encuentra o la dirección de los mismos. Posterior al envío de las instrucciones el driver direccionado puede enviar la información requerida mediante tramas.
- 4) **Comandos especiales:** Se emplean para inicializar y configurar los drivers. Estas instrucciones requieren ser transmitidas 2 veces en un tiempo menor a 100 ms para que no sean ignoradas. Únicamente serán considerados los datos enviados durante los primeros quince minutos de la conexión al sistema y posterior a haber enviado la instrucción INITIALIZE.

### Conexión al bus DALI

- La conexión al bus se realiza a través del microcontrolador ATXMEGA en el cual se le configura este módulo de configuración DALI.
- Mediante el empleo de opto acopladores ofrece aislamiento entre el bus y el circuito de control.

Number	Command Code	Repeat < 100 ms	Answer Slave	Command Name
-	YAAA AAA0 XXXX XXXX	no	no	DIRECT ARC POWER CONTROL
0	YAAA AAA1 0000 0000	no	no	OFF
1	YAAA AAA1 0000 0001	no	no	UP
2	YAAA AAA1 0000 0010	no	no	DOWN
3	YAAA AAA1 0000 0011	no	no	STEP UP
4	YAAA AAA1 0000 0100	no	no	STEP DOWN
5	YAAA AAA1 0000 0101	no	no	RECALL MAX LEVEL
6	YAAA AAA1 0000 0110	no	no	RECALL MIN LEVEL
7	YAAA AAA1 0000 0111	no	no	STEP DOWN AND OFF
8	YAAA AAA1 0000 1000	no	no	ON AND STEP UP
9-15	YAAA AAA1 0000 1XXX			RESERVED
16 - 31	YAAA AAA1 0001 XXXX	no	no	GO TO SCENE
32	YAAA AAA1 0010 0000	yes	no	RESET
33	YAAA AAA1 0010 0001	yes	no	STORE ACTUAL LEVEL IN THE DTR
34 - 41	YAAA AAA1 0010 XXXX			RESERVED
42	YAAA AAA1 0010 1010	yes	no	STORE THE DTR AS MAX LEVEL
43	YAAA AAA1 0010 1011	yes	no	STORE THE DTR AS MIN LEVEL

Figura 2.35. Comandos Control DALI

### 2.2.6.5 DISEÑO DE TARJETA CONTROL ON/OFF

La tarjeta de control ON/OFF se la emplea para el área de Laboratorio donde, al no haber mucha luz natural no se requiere dimerizar.

Para el control On/Off se emplea un control mediante el empleo de RELES.

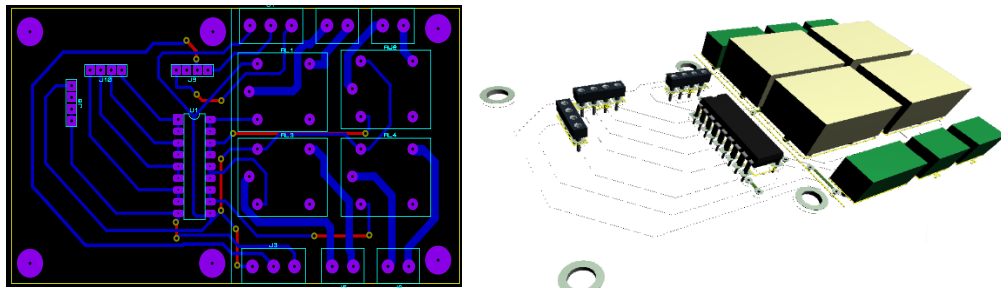


Figura 2.36. Tarjeta Control ON/Off

Debido a que esta tarjeta el control es bastante sencillo se conectan a la misma sensores de movimiento de las áreas de Sala de Reuniones y Laboratorio.

### 2.2.6.6 DISEÑO Y CONEXIÓN SENSORES DE MOVIMIENTO

Se utilizan cuatro sensores de luz infrarroja PIR para detectar la presencia de los usuarios de cada uno de los espacios del salón 216B, este dispositivo integra internamente una lente Fresnel [29]. En la Figura 2.6 se observa un detector PIR HC-SR501, el cual es fácil de usar y posee las siguientes características técnicas, vistas en la Tabla 2.7.



Figura 2.37. Sensor HC-SR501 [29]

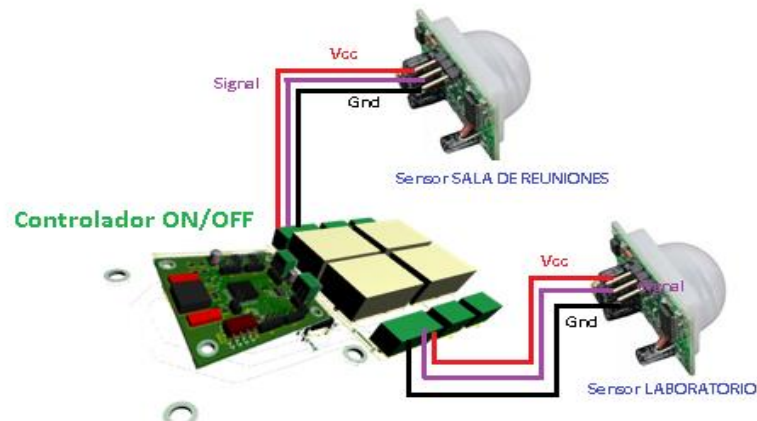
Tabla 2.10. Características del sensor de movimiento PIR [29]

Descripción	HC-SR501
Voltaje DC de funcionamiento	4.5 – 20 V
Corriente	50 uA
Ángulo de detección	100°
Temperatura de funcionamiento	-15 a 70 °C

Tamaño del lente (diámetro)	23 mm
Tamaño del sensor	32 x 24 mm

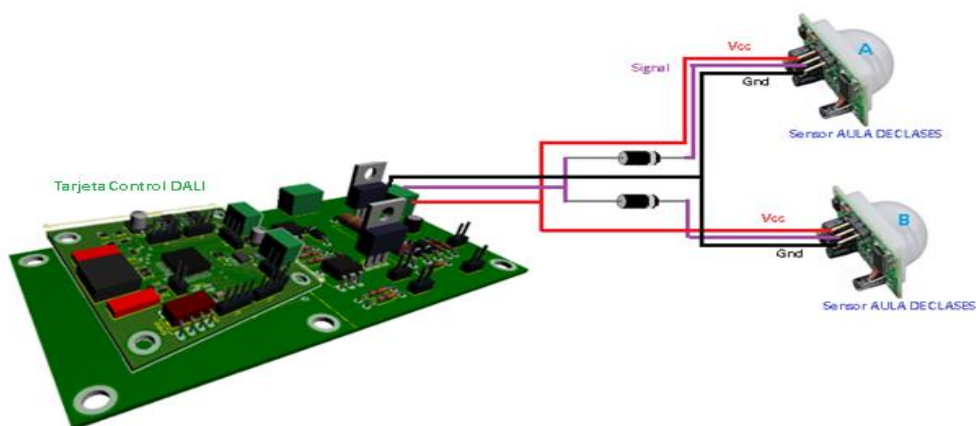
Se emplea de acuerdo a las áreas y coberturas del sensor:

Los sensores de LABORATORIO y SALA DE REUNIONES se conectan hacia la tarjeta de Control ON/Off, donde se dejó prevista las borneras para su conexión.



**Figura 2.38.** Conexión Sensores Laboratorio y Sala de Reuniones

Para el AULA DE CLASES, se emplean 2 sensores de movimiento debido a las dimensiones del salón.



**Figura 2.39.** Conexión Sensores Aula de Clases

Ambos sensores son conectados hacia una misma entrada el microcontrolador, empleando Diodos para generar una especie de compuerta OR entre ambos sensores.



**Tabla 2.11.** Funcionamiento del sensor de movimiento en Aula de Clases

Sensor A	Sensor B	Luces
PRESENCIA	PRESENCIA	ON
PRESENCIA	AUSENCIA	ON
AUSENCIA	PRESENCIA	ON
AUSENCIA	AUSENCIA	OFF

### 2.2.6.7 DISEÑO Y CONEXIÓN SENSORES DE LUMINOSIDAD

Se utilizan dos sensores de luminosidad ubicado en las áreas que cuentan con ventanas, internamente posee una resistencia que varía de forma inversa a la luz, es decir, cuando disminuye la resistencia a medida que existe un aumento de la luz ambiente. En la Figura 2.7 se observa un sensor de luz o LDR cuyas características se muestran en la Tabla 2.8.

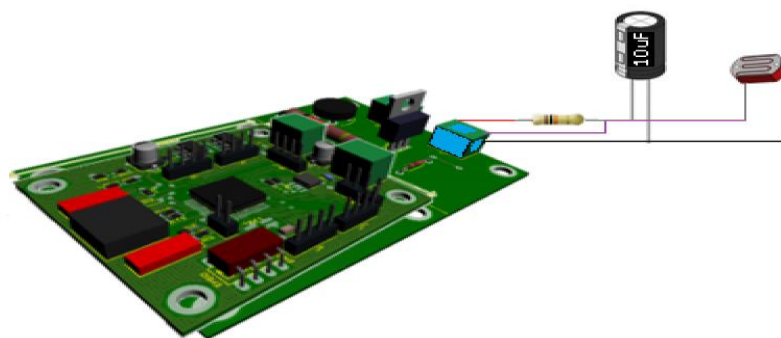


**Figura 2.40.** Sensor LDR [29]

**Tabla 2.12.** Características del sensor LDR [29]

Descripción	LDR
Voltaje DC máximo	150 V
Potencia	90 mW
Temperatura	-25 a 75 °C
Resistencia a 10 Luxes	> 50 K $\Omega$
Resistencia a 0 Luxes	> 0.9 M $\Omega$

La conexión de los sensores se la hace en paralelo a un capacitor de 10 Uf para filtrar la señal del LDR y aparte se ubica una resistencia de 10 K $\Omega$  para crear un divisor de voltaje al ingreso del ADC del microcontrolador.



**Figura 2.41.** Conexión Sensor LDR

La tarjeta de Control por Chopper posee un sensor de Luminosidad para el Aula de clases y para la sala de reuniones el sensor se encuentra en la tarjeta del controlador de fase.

### 2.2.6.8 DISEÑO Y CONEXIÓN SENSOR BIOMÉTRICO

En la Figura 2.8 se observa el sensor DY-50 que tiene la capacidad de detectar y verificar las huellas dactilares de forma simple. Además, puede ser conectado en cualquier microcontrolador o de serie TTL, enviar datos en forma de fotos, detección de impresiones y permite registrar nuevas huellas dactilares en una memoria flash integrada. En la Tabla 2.9 se indica las características del sensor biométrico [31].

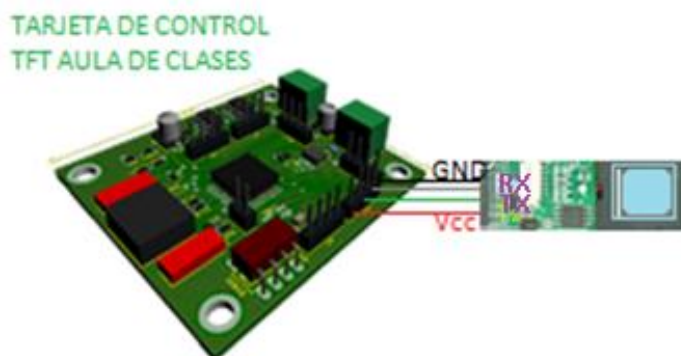


**Figura 2.42.** Sensor DY-50 [31]

**Tabla 2.13.** Características del sensor DY-50 [31]

Descripción	DY-50
Voltaje de alimentación	3.6 – 6.0 V
Corriente de operación máxima	120 mA
Corriente de pico máxima	150 mA
Tiempo de captación del dedo	< 1 segundo

Área de la ventana	14 x 18 mm
Archivo de plantilla	512 bytes
Capacidad de almacenamiento	162 plantillas
Clasificación de seguridad (baja a alta)	1 – 5
Tasa de aceptación falsa (nivel 3)	< 0.001 %
Tasa de rechazo falso (nivel 3)	< 1.0 %
Interfaz	Serie TTL
Velocidad de transmisión	9600 * N
Escala N	1 – 6
Temperatura de trabajo	-20 a 50 °C
Humedad de trabajo	40 – 80 %



**Figura 2.43.** Conexión Sensor biométrico

El sensor biométrico se conecta a la tarjeta de control de la TFT principal del aula de clases.

## **FUNCIONES SENSOR BIOMÉTRICO**

### **-Activación Modo Manual y Modo automático**

**Modo Automático.** - Sensores de movimiento y luminosidad activados y TFT principal desactivado.

**Modo Manual.** - Sensores de movimiento y luminosidad desactivados y TFT principal activada, se pueden seleccionar escenas.

Para identificar en qué modo se encuentra en la parte superior de la tarjeta de control se encuentran 2 leds: LED ROJO (Automático), LED VERDE (Manual).

## REGISTRO DE USUARIOS

Tabla 2.14. Registro de Usuarios

#	INGRESO		
REGISTRO	HEXADECIMAL	USUARIO	FUNCIÓN
1	1	A	CAMBIO MODO MANUAL/AUTOMÁTICO
2	2	A	ENCENDITO TOTAL SALÓN
3	3	A	APAGADO TOTAL SALÓN
4	4	B	CAMBIO MODO MANUAL/AUTOMÁTICO
5	5	B	ENCENDITO TOTAL SALÓN
6	6	B	APAGADO TOTAL SALÓN
7	7	C	CAMBIO MODO MANUAL/AUTOMÁTICO
8	8	C	ENCENDITO TOTAL SALÓN
9	9	C	APAGADO TOTAL SALÓN
10	A	D	CAMBIO MODO MANUAL/AUTOMÁTICO
11	B	D	ENCENDITO TOTAL SALÓN
12	C	D	APAGADO TOTAL SALÓN
13	D	E	CAMBIO MODO MANUAL/AUTOMÁTICO
14	E	E	ENCENDITO TOTAL SALÓN
15	F	E	APAGADO TOTAL SALÓN

### 2.2.6.9 DISEÑO Y CONEXIÓN PANTALLAS TFT

Se emplea las pantallas TFT de la marca Nextion para la visualización y control de cada uno de los circuitos implementados. Este tipo de pantallas es una interfaz que proporciona un control y visualización entre un usuario y la acción a realizarse [31].

En el Laboratorio como en la Sala de Reuniones se emplea una pantalla Nextion NX4024T032 de 3.2 pulgadas y para el aula de clases donde se tendrá el control total de cada una de las áreas, se utiliza una TFT Nextion NX4827T043 de 4.3 pulgadas.

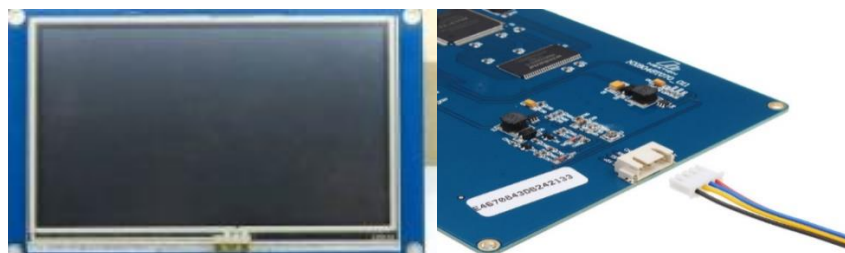


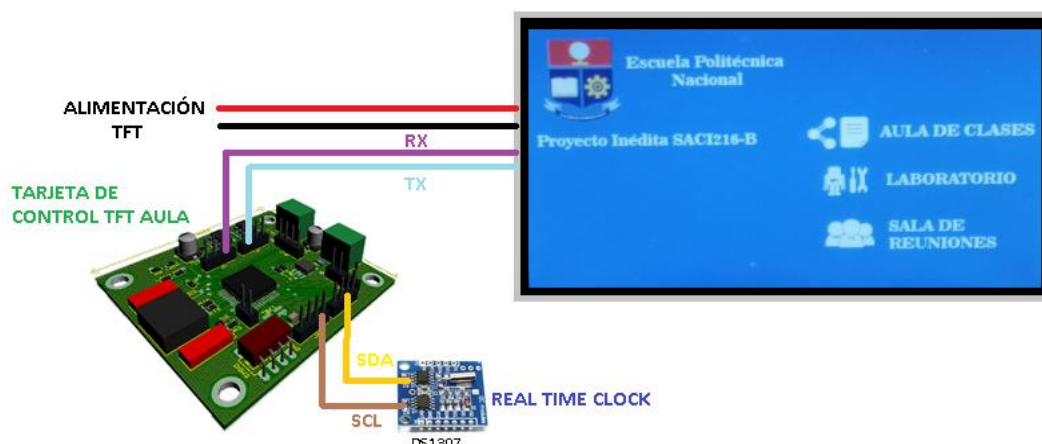
Figura 2.44. Pantalla TFT Nextion [31]

En la Tabla 2.10 se observan las características de las pantallas de 3.2 y 4.3 pulgadas de la marca Nextion.

**Tabla 2.15.** Características de las pantallas Nextion [31]

Descripción	NX4024T032	NX4827T043
Tamaño	3.2 pulgadas	4.3 pulgadas
Resolución	400 x 240	480 x 272
Panel táctil resistivo integrado	4 hilos	4 hilos
Pines de la interfaz TTL	4 hilos	4 hilos
Área visual (largo x ancho en mm)	69.60 x 41.76	95.04 x 53.86
Consumo de energía	5 V, 85 mA	5 V, 250 mA
Tarjeta	Micro - SD	Micro – SD
Velocidad	9600 baudios	9600 baudios
Voltaje de salida en alto	3.2 V	3.2 V
Voltaje de salida en bajo	0.1 V	0.1 V
Voltaje de entrada en alto	3.3 V	3.3 V
Voltaje de entrada en bajo	0 V	0 V

## TFT AULA DE CLASES



**Figura 2.45.** Pantalla TFT Aula de Clases

La tarjeta de Control de la TFT del Aula de clases por la accesibilidad a la misma es la cuál se programa la mayor parte del programa para el sistema de control.

La pantalla se encuentra ubicada junto a la puerta principal por lo cual también en esta pantalla se tiene acceso a todas las áreas, siempre y cuando se active el modo manual mediante el sensor biométrico.

## PANTALLA PRINCIPAL



Figura 2.46. Pantalla Principal TFT Aula de Clases

### ➤ BOTÓN AULA DE CLASES

Se genera una nueva pantalla.

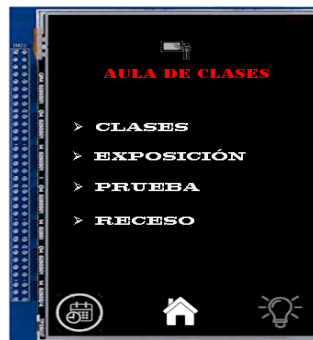


Figura 2.47. Pantalla Aula de Clases TFT Aula de Clases

En esta pantalla se pueden generar distintas escenas de funcionamiento del Aula de Clases:

#### • Escena CLASES

-Luminarias DALI al 75%

-Dicroicos al 100%

#### • Escena EXPOSICIÓN

-Luminarias DALI 2 al 50%

-Dicroicos al 0%

#### • Escena PRUEBA

-Luminarias DALI al 100 %

-Dicroicos al 0%

#### • Escena RECESO

-Luminarias DALI al 50%

-Dicroicos al 50%

**Botón** 

Encendido y apagado total de la zona de iluminación.

**Botón** 

Regresar a pantalla principal

### ➤ **BOTÓN LABORATORIO**

Nueva pantalla

Encendido y apagado luces laboratorio



**Figura 2.48.** Pantalla Aula de Clases TFT Laboratorio.

### ➤ **BOTÓN SALA DE REUNIONES**

Nueva pantalla

Atenuación luces sala de reuniones



**Figura 2.49.** Pantalla Aula de Clases TFT Sala de Reuniones

## TFT SALA DE REUNIONES

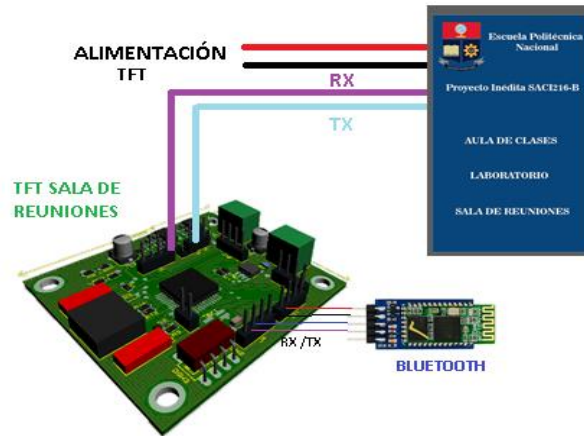


Figura 2.50. Pantalla TFT Sala de Reuniones

### ➤ BOTÓN SALA DE REUNIONES

Nueva pantalla

Atenuación luces sala de reuniones

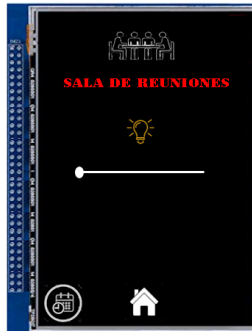


Figura 2.51. Pantalla Aula de Clases TFT Sala de Reuniones

## TFT LABORATORIO

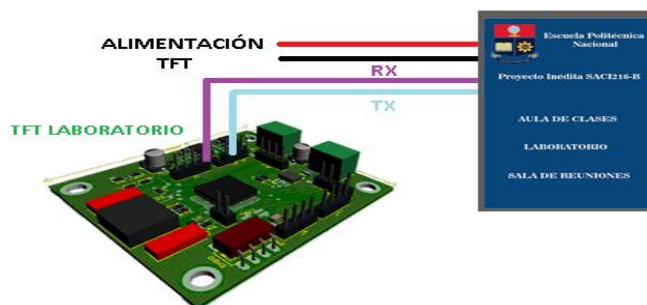


Figura 2.52. Pantalla TFT Laboratorio



## ➤ BOTÓN LABORATORIO

Nueva pantalla

Encendido y apagado luces laboratorio



Figura 2.53. Pantalla Aula de Clases TFT Laboratorio

## 2.3 COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

### 2.3.1 PROTOCOLO RS-485

Para la comunicación entre cada una de las tarjetas se empleó el protocolo de comunicación RS-485, o también se lo conoce como EIA-485.

Este protocolo se encuentra definido mediante un bus de datos de comunicación multipunto diferencial.

Mediante este protocolo se puede transmitir grandes distancias a altas velocidades, tampoco presenta inconvenientes para la transmisión por canales ruidosos.

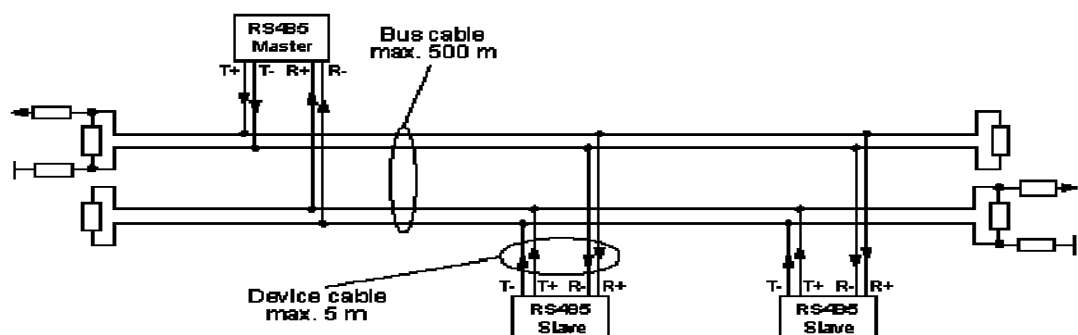


Figura. 2.54. Protocolo RS 485 de 4 hilos

Para este protocolo se emplea un par trenzado que permite recorrer una distancia máxima de 120 metros y funcionar entre 300 a 19200 bits por segundo mediante una comunicación half-duplex.

Para este protocolo se tiene un nivel de salida de  $\pm 2V$  entre los dos hilos de comunicación. Para reconocer una señal válida debe ser un valor de por lo menos  $\pm 200mV$ .

### 2.3.2 CABLES DE TRANSMISIÓN

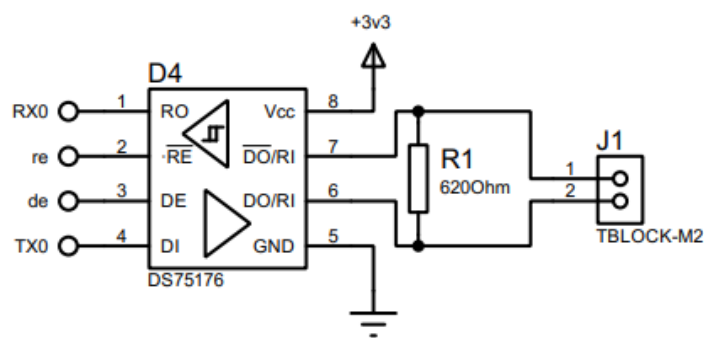
Uno de los cables más empleados para este tipo de comunicación son los UTP, ya que estos evitan la diafonía que puede tenerse entre las señales transmitidas, además permite reducir el apantallamiento.

Es necesario para este tipo de conexiones, poner un final de cable de la red comunicación, lo que permite tener una pausa en los tiempos en los que no se encuentren enviando información ninguno de los equipos transmisores.

En este caso se ubicaron resistencias de 330 ohmios como resistencias terminales.

### 2.3.3 COMUNICACIÓN RS485

En la Figura 2.20 se dispone de un circuito transceptor multipunto RS-485 / RS-422, cuyas características son las siguientes [32]:



**Figura 2.55.** Integrado DS75176 [32]

- Transmisión de datos multipunto.
- La salida del controlador opera dentro del rango entre -7 a 12 V.
- Temperatura de funcionamiento: 0 – 70 °C.
- Protección de apagado térmico.
- Histéresis del receptor típico de 70 mV.

- Todos los microcontroladores ATxmega64 comparten configuraciones similares como inicio de reloj, entradas, salidas, comunicaciones y tiempo de espera antes de comenzar el programa principal, tal como se indica en la Figura 2.21.

### 2.3.4 MÓDULO DE COMUNICACIÓN RS-485 – USB

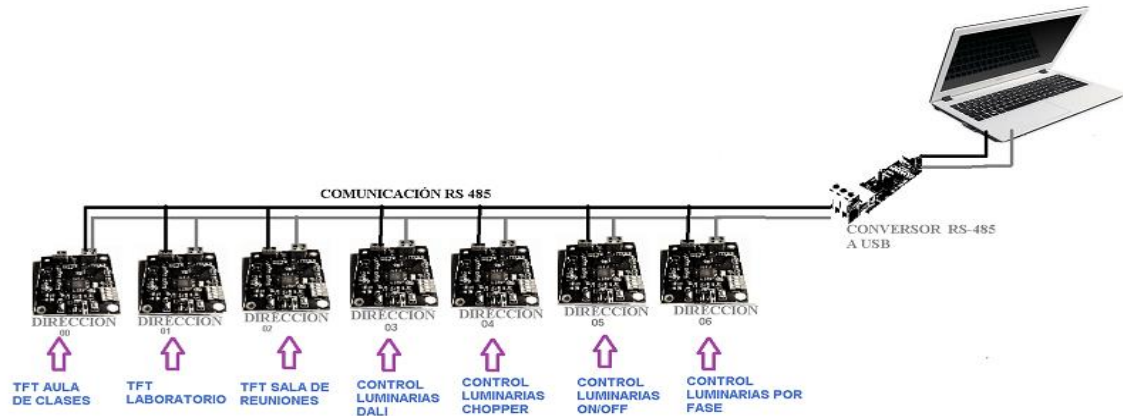


Figura 2.56. Módulo de comunicación RS 485 - USB [32]

El módulo USB a RS485 permite establecer comunicación entre una computadora a través de su puerto USB y un microcontrolador. Este dispositivo cuenta con un MAX 485 que permite que el dispositivo se conecte mediante el bus a los demás dispositivos.

### 2.3.5 CHEQUEO DE ERRORES Y CÁLCULO DEL CRC

Al enviar varios datos a la vez se debe contar con un mecanismo que nos permite diferenciar entre datos correctos y los que son erróneos.

"0011" (hex)	
1 byte checksum	17
CRC-16	0x0CC0
CRC-16 (Modbus)	0xBCC1
CRC-16 (Sick)	0x1100
CRC-CCITT (XModem)	0x0210
CRC-CCITT (0xFFFF)	0x1F1F
CRC-CCITT (0x1D0F)	0x86D0
CRC-CCITT (Kermit)	0x0801
CRC-DNP	0xCA7B
CRC-32	0x2B69320D

0011

Input type:  ASCII  Hex

Figura 2.57. Cálculo de CRC [32]

Para los datos en serie se verifica mediante un bit de paridad a cada byte enviado. Este mecanismo de detección simple funciona si cambia un número impar de bits en un byte, pero la verificación de paridad no detectará un número par de bits falsos en un byte.

Para superar este problema, se han buscado mecanismos matemáticos para detectar múltiples bits falsos. El resultado de esto fue el **cálculo de CRC** o la verificación de redundancia cíclica.

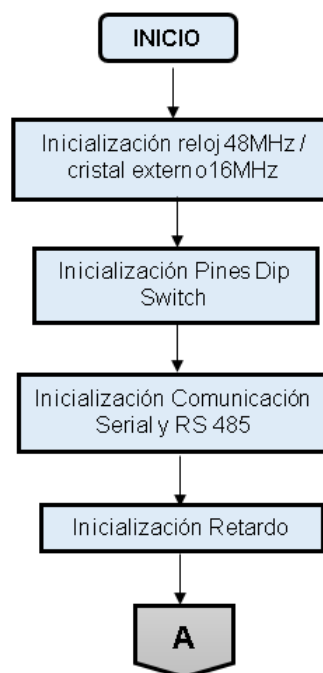
La suma de comprobación de un byte se puede calcular agregando todos los valores, en lugar de dividirla por 256 y mantener el resto.

## 2.4 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

### 2.4.1 DIAGRAMAS DE FLUJO

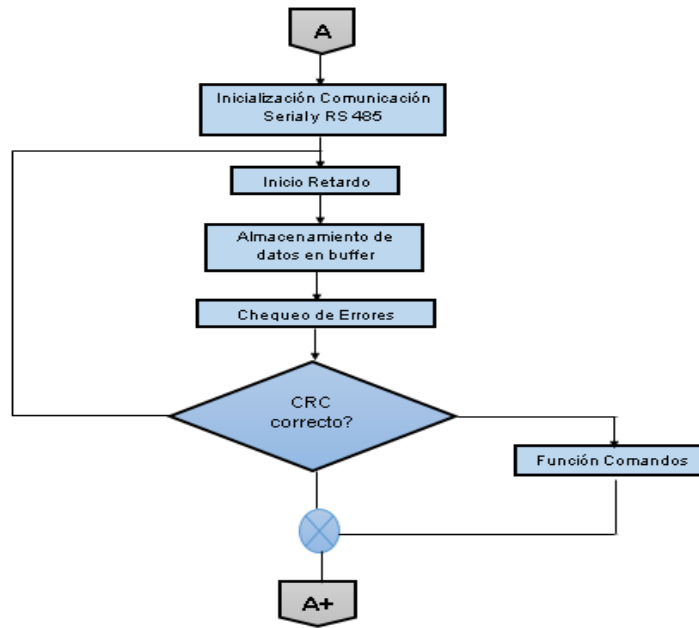
Cada una de las tarjetas cuenta un cristal externo de 16MHz para lograr una velocidad de 48MHz.

Para el funcionamiento de cada una de las 7 tarjetas de control se procede según los siguientes diagramas de flujo:



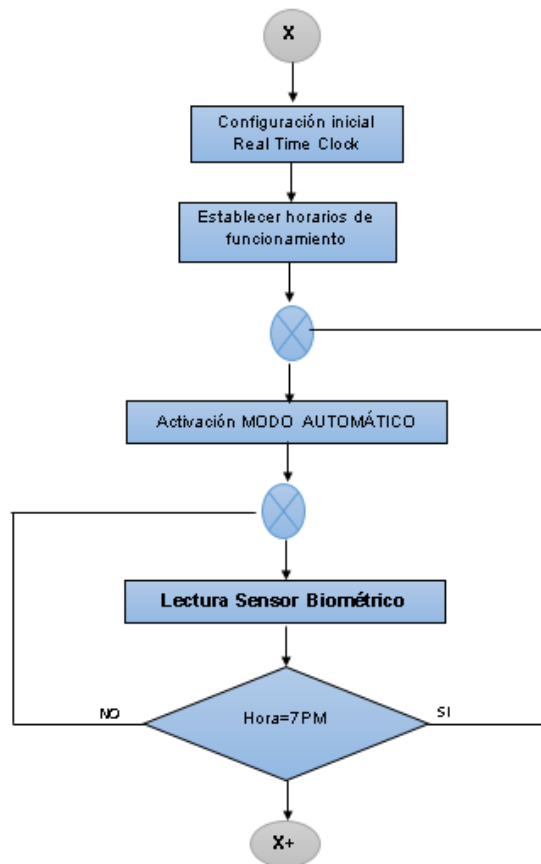
**Figura 2.58.** Configuraciones iniciales por cada microcontrolador

Para establecer la comunicación entre cada una de las tarjetas se realiza primero el direccionamiento de cada una de las mismas mediante los dip switch que posee cada una de las tarjetas.



**Figura 2.59.** Comunicación entre tarjetas

Una vez que se procede a inicializar cada una de las tarjetas de control, es necesario considerar los horarios de funcionamiento del sistema.



**Figura 2.60.** Funcionamiento por horarios del sistema

Los horarios de Funcionamiento del sistema se establecen a partir de las 7PM en Modo Automático del sistema, ayudando de esta manera a que en el caso de que se haya dejado activado el modo Manual del sistema se lo modifique para el funcionamiento adecuado de los sensores de movimiento.

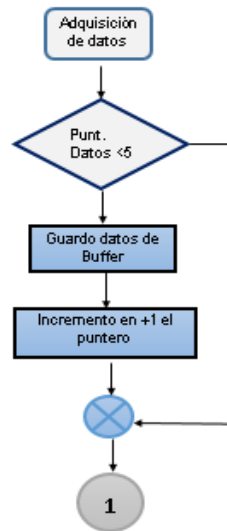


Figura 2.61. Comunicaciones parte 1 Interrupciones

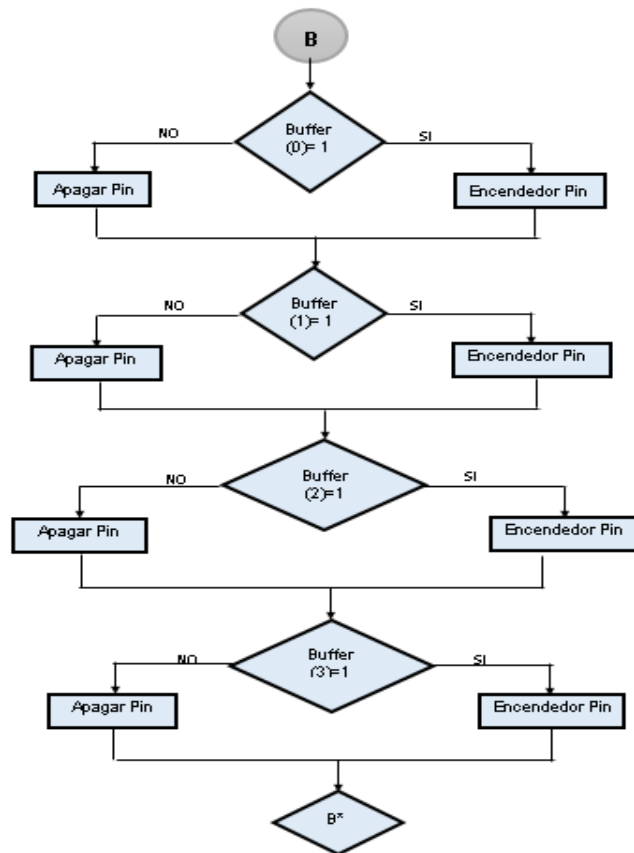
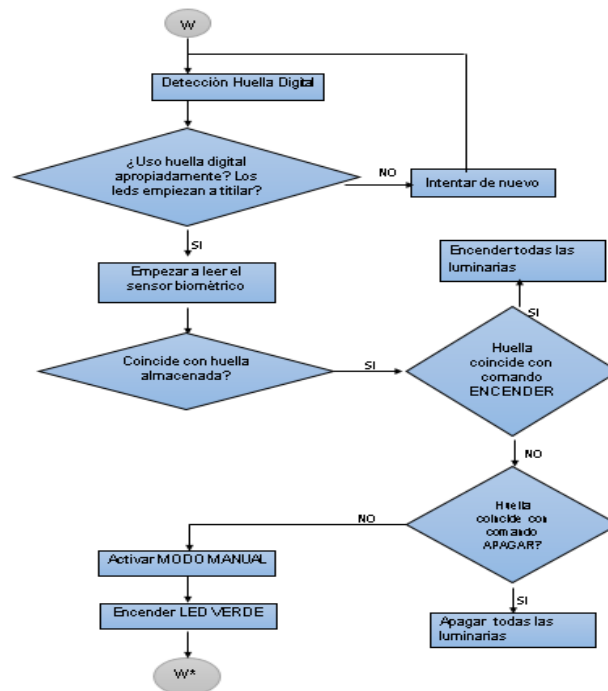


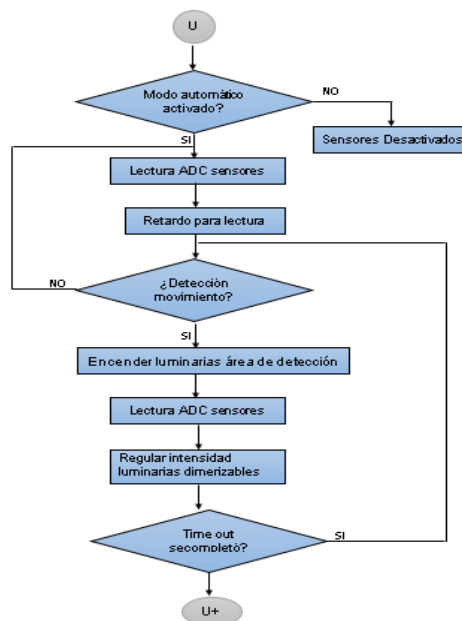
Figura 2.62. Reseteo de comunicación

Para la detección de las huellas digitales mediante el sensor biométrico, se lo realiza con el controlador de la pantalla TFT principal en la Aula de Clases.



**Figura 2.63.** Funcionamiento Sensor Biométrico

Para la detección de sensores de movimiento se considera uno por cada espacio de trabajo. Se genera una interrupción para encender las luminarias siempre y cuando se encuentre en el modo automático del sistema.



**Figura 2.64.** Funcionamiento sensores

Para el funcionamiento de cada una de las tarjetas se realiza un programa diferente para cada uno de los diferentes tipos de control de iluminación.

Dimerización luminarias dicroicas Led, a través de la técnica de Chopper

### CHOPPER

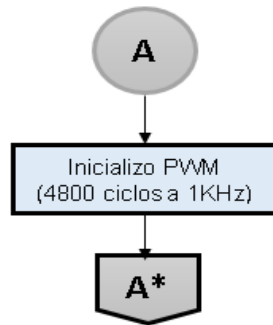


Figura 2.65. Configuraciones iniciales por cada microcontrolador

### Reseteo Comunicación

Esta parte del programa se emplea igual para todos los microcontroladores.

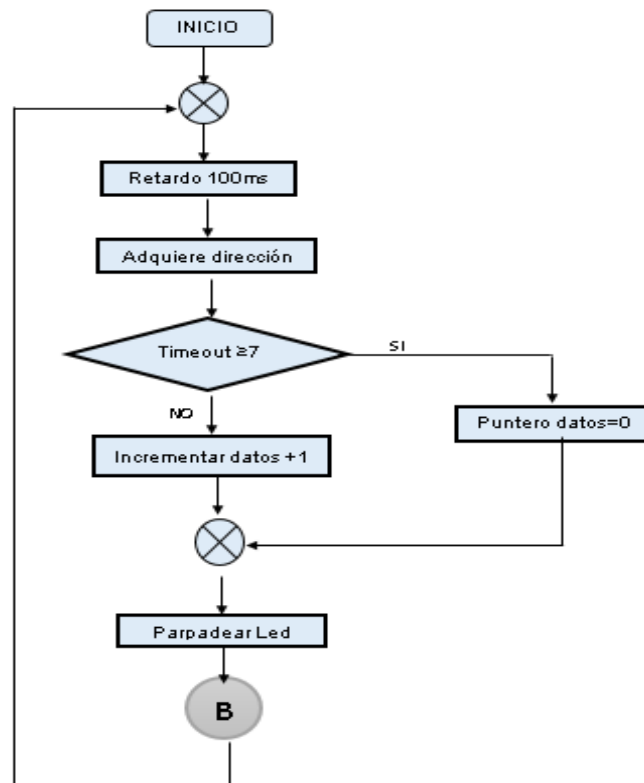
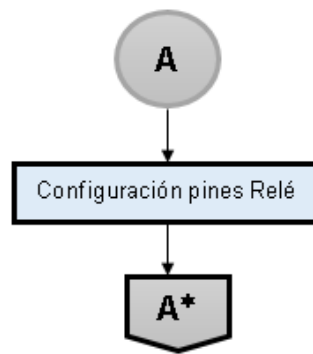


Figura 2.66. Reseteo de comunicación



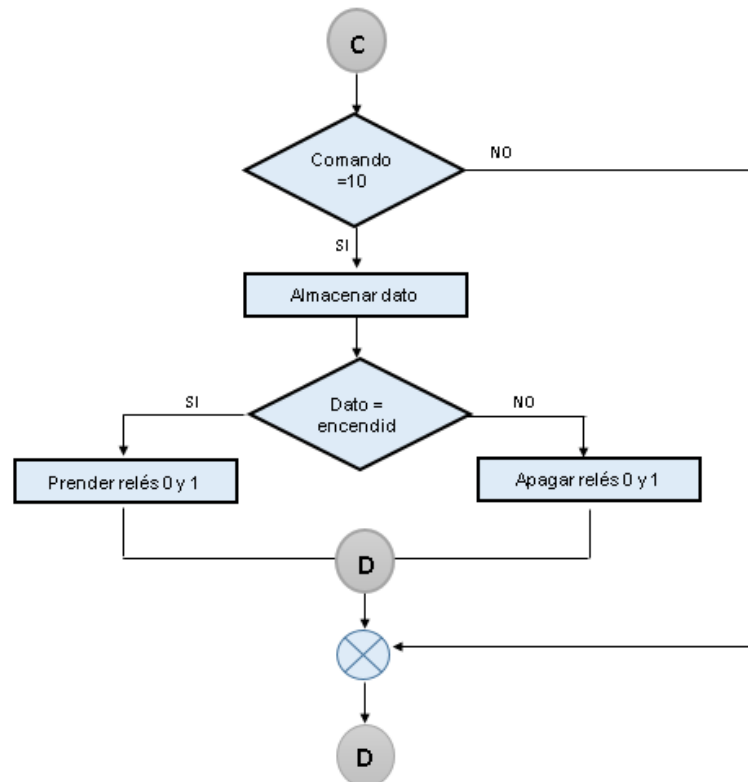
El reseteo de comunicación permite no se colapse la comunicación por la cantidad de datos existentes en la trama.

Para la activación y desactivación de los relés para el Laboratorio, se ejecuta una orden de activación o desactiva, ya sea por la detección de los sensores o por una orden enviada por alguna de las pantallas de control.

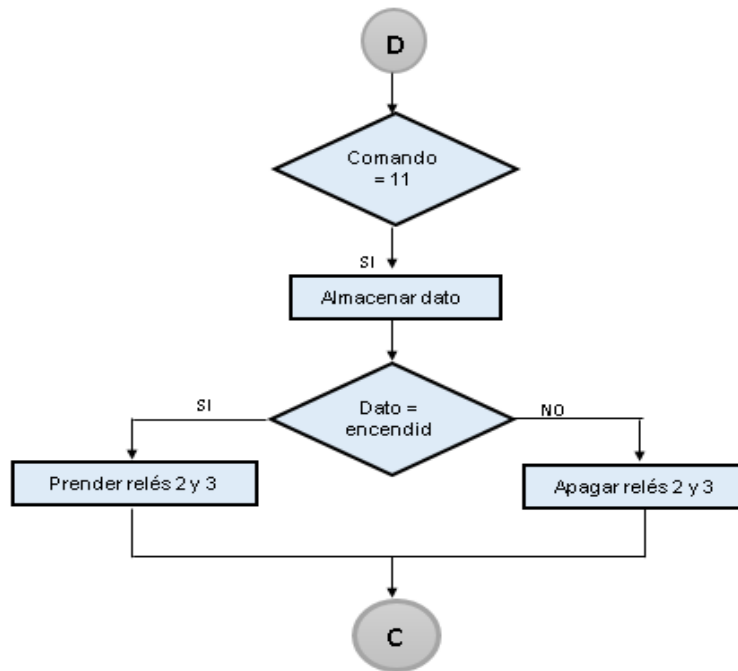


**Figura 2.67.** Activación del relé

El comando para la tarjeta de control On/Off es 10, por lo cual se envía este comando, luego se procede a almacenar el dato y se envía a encender las luminarias.

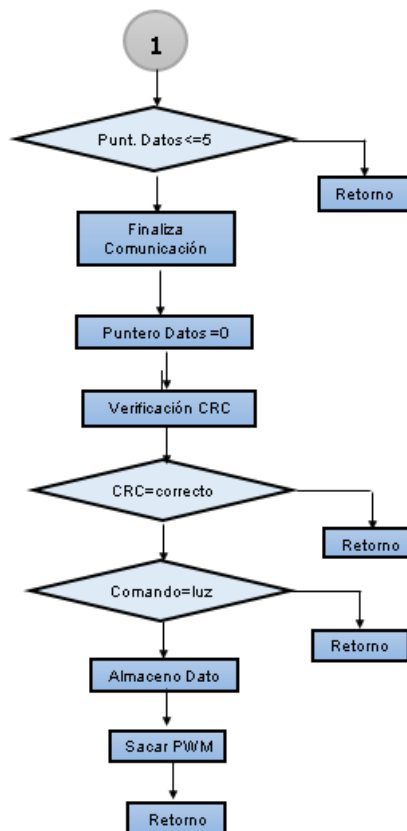


**Figura 2.68.** Encendido control On/Off



**Figura 2.69.** Comunicación y activación Relés

Para el control por Chopper se lo realiza generando una señal PWM.



**Figura 2.70.** Comunicaciones parte 2

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan las pruebas de funcionamiento del sistema de control de iluminación realizadas dentro del Salón 216B del EARME.

En primera instancia se presenta la nueva distribución del espacio y las luminarias modificadas. Posterior a este se presenta los equipos de Control instalado, sus conexiones realizadas y las pantallas colocadas en cada una de las áreas.

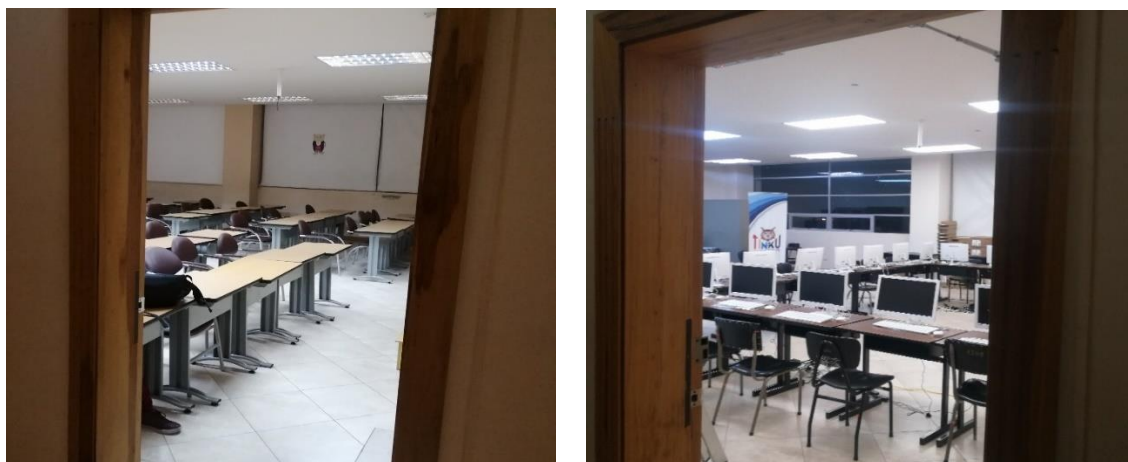
Posterior a esto se realizan las pruebas y cálculos necesarios para evidenciar la eficiencia energética de las luminarias implementadas y el ahorro generado por el sistema de control de iluminación diseñado.

Se presenta también las mediciones de los niveles de iluminación con las nuevas luminarias y poder calibrar tanto los sensores de movimiento como los de iluminación en las distintas escenas establecidas.

Para finalizar el capítulo se realiza el cálculo de la carga instalada y de ahorro producido por sensores de movimiento y de luminosidad, además de la configuración de escenas de las pantallas TFT.

#### 3.1 COMPARATIVO DE LUMINARIAS CON SISTEMA EFICIENTE

Para evidenciar la eficiencia energética del sistema de control de iluminación y de las luminarias modificadas procedemos a realizar los cálculos de la carga instalada y compararlo con las luminarias originales.



**Figura 3.1.** Comparativo Salón 216B del EARME

El salón 216B se compone de 3 espacios: Aula de clases, Laboratorio y sala de reuniones.

Dentro del espacio se tiene diferentes elementos a considerar para realizar esta comparación de cada uno de los elementos.

### 3.1.1 ILUMINACIÓN GENERAL

El salón constaba inicialmente como iluminación general con 12 luminarias fluorescente con 3 tubos T5 de 32W cada uno. Actualmente se tiene el reemplazo con paneles LED.

**Tabla.3.1.** Comparativo luminarias

LUMINARIAS INICIALES	LUMINARIAS NUEVAS
	
12 Luminarias (3 tubos fluorescentes por luminaria)	12 Luminarias LED
Consumo por luminaria 96W	Consumo por luminaria 48W
Vida útil 6000 horas	Vida útil 50000 horas
Mantenimiento constante	Poco mantenimiento
Demora en instalación	Fácil instalación
Generan calor	No se calientan
Compuestos por mercurio/Contaminan	Formado por minerales/Amigable con el medio ambiente

### 3.1.2 ILUMINACIÓN DIRIGIDA

Uno de los factores de consumo más grandes que se tenía en el salón es el empleo de luminarias halógenas dirigidas hacia la pizarra, las cuales pueden ser reemplazadas por otras con un consumo 10 veces menor.


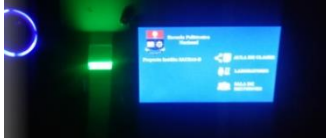
**Tabla.3.2.** Comparativo luminarias

LUMINARIAS INICIALES	LUMINARIAS NUEVAS
	
5 Luminarias halógenas	5 Luminarias dicroicas LED
Consumo por luminaria 50W	Consumo por luminaria 6W
Requiere transformador	Conexión directa a 110V
Demora en instalación	Fácil instalación
Generan calor	No se calientan
Compuestos por halógeno (yodo o bromo)	Formado por minerales/Amigable con el medio ambiente

### 3.1.3 CONTROL DE ILUMINACIÓN

La diferencia entre un sistema formado por interruptores comunes y un sistema de control de iluminación radica en el ahorro energético y el confort de los usuarios de cada uno de los espacios. El no tener que preocuparse por haber olvidado apagar las luces del espacio o que si se va a realizar una determinada actividad no tener que apagar totalmente las luminarias.

**Tabla.3.3.** Comparativo Controles

EQUIPOS INICIALES	EQUIPOS NUEVOS
	
3 Interruptores y 1 Dimmer	3 Pantallas TFT/ sensor biométrico/sensores de movimiento y luminosidad
Control de 4 circuitos de iluminación	Generación de escenas
Control de circuitos de iluminación por columnas	Control de iluminación por espacio de trabajo

	Sensores de movimiento
	Sensores de luminosidad
	Mayor eficiencia energética
Costo bajo	Costo alto

### 3.2 PRUEBA DE CARGA INSTALADA

Para los cálculos de carga instalada se consideran las características de potencia y consumo energético de cada una de las luminarias y equipos de control

los Paneles LED tienen una mayor eficiencia energética, un mejor flujo luminoso y no emplean mercurio, lo que los vuelve aparte de ser eficientes energéticamente contribuyen al medio ambiente.



**Figura 3.2.** Medición de niveles de iluminación en Salón 216B

Para tener una medición correcta de la carga instalada en el Salón 216B y compararlo con el inicial, se verifica en el Panel de Brakers que el circuito de iluminación sea independiente de otras aulas y de otro tipo de cargas.

Para el comparativo de carga instalada se realiza la siguiente tabla:

**Tabla 3.4.** Comparación de Carga Instalada

PARAMETROS	SISTEMA INICIAL		SISTEMA EFICIENTE	
	# Luminarias	12 Luminarias de 3 Tubos fluorescentes	5 dicroicos halógenos	12 Paneles LED
Potencia Luminaria (W/luminaria)	96 W/Luminaria	50W/luminaria	50W/luminaria	6W/luminaria
Carga Instalada (Kw)	1.152 KW	0.25 KW	0.6 KW	0,03 KW
Ahorro (Kw)			0.552 KW	0,22KW

<b>Mercurio por Tubo Fluorescente (mg)</b>	4,5			
<b>Carga instalada total</b>	<b>1.402 KW</b>		<b>0.63 KW</b>	
<b>Porcentaje de ahorro</b>	55,06%			

En esta tabla no se considera aún el consumo de los equipos de control y sus fuentes de alimentación. Además, en esta tabla tampoco se evidencia el ahorro que también se tiene con los sensores en cada espacio de trabajo.

Cabe resaltar que para laboratorios donde se trabaja continuamente no se empleó luminarias dimerizables, las cuales si se las modificará se generaría un ahorro aún mayor.

### **3.3 PRUEBAS REALIZADAS CON EL SISTEMA DE CONTROL Y LUMINARIAS**

Cada uno de los espacios del Salón 216B requiere contar con un nivel de iluminación adecuado, la medición de estos niveles se lo realiza con ayuda de un luxómetro que me indica los niveles de iluminancia en cada espacio de trabajo.



**Figura 3.3.** Salón 216B del EARME

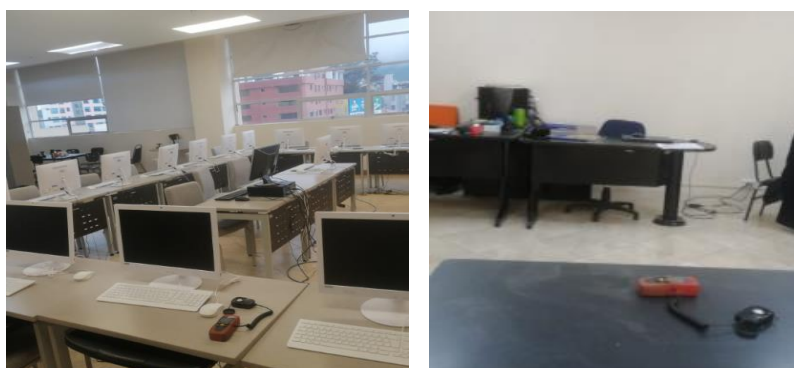
### 3.3.1 MEDICIÓN DE NIVELES DE ILUMINACION

Con la ayuda de un luxómetro se tomó varias medidas en los diferentes puntos del Salón 216B, considerando varios aspectos como el horario del día, si las ventanas se encontraban o no abiertas y si los otros espacios también se encontraban iluminados.



**Figura 3.4.** Medición de niveles de iluminación en Salón 216B

Se tomaron diferentes mediciones en cada uno de los puntos de forma que se cumpla con los parámetros de flujo luminoso en los distintos espacios



**Figura 3.5.** Medición de niveles de iluminación en Salón 216B

Las mediciones se las realiza en cada una de las áreas y considerando las diferentes escenas de iluminación.

Los niveles de iluminación van a depender de varios factores como el clima, si se encuentran o no subidas las cortinas del salón y si se encuentra el sistema en modo manual o automático.

Si el sistema en modo automática va a influir el sensor de luminosidad que va a estar enviando señales para atenuar las luminarias correspondientes, en cambio en modo manual va a depender de la escena que se encuentre seleccionada.





**Figura 3.6.** Medición de niveles de iluminación en Salón 216B

**Tabla 3.5.** Comparación de Iluminancia

AREA	PUNTO DE MEDICIÓN	LUMINARIAS TRADICIONALES (Lx)	LUMINARIAS EFICIENTES (Lx)	MEJORA (%)
AULA DE CLASES	1	680	750	10,30%
	2	780	890	14,10%
	3	790	900	13,90%
	4	780	880	12,80%
	5	800	900	12,50%
	6	790	900	13,90%
SALA DE REUNIONES	7	680	730	7,40%
LABORATORIO	8	720	810	12,50%
	9	710	820	15,50%
	10	725	800	10,30%
	11	735	810	10,20%
	12	690	740	7,20%

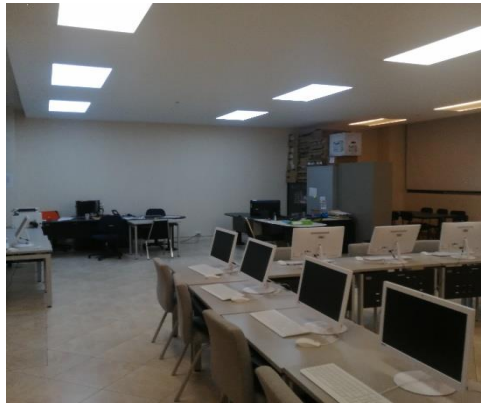
Según las mediciones tomadas, se encuentra dentro de los rangos adecuados para cada espacio de trabajo.

### 3.3.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE ESCENAS

Con el sistema instalado se puede tener diferentes escenas de iluminación en cada una de las áreas, estos son debido a los distintos tipos de controles que se desarrollaron en este proyecto.

#### 3.3.2.1 FUNCIONAMIENTO MODO AUTOMÁTICO

Cuando el modo Automático está activado los sensores de movimiento prevalecen sobre cualquier otra orden. Si se ingresa a cada salón se debe encender automáticamente las luces, según la hora del día.

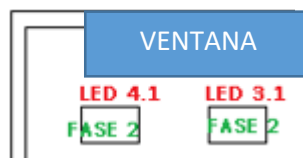


**Figura 3.7.** Funcionamiento modo automático Salón 216B

Después de 5 min que salga cualquier persona de cada uno de los espacios, el sensor de cada espacio debe ejecutar la orden de apagar las luces del espacio.

Mientras no se haya accionado ninguna acción desde las TFT, las luminarias continúan según los niveles de encendido del sensor de presencia y se evalúa los niveles con el sensor de luminosidad.

SALA DE REUNIONES



**Figura 3.8.** Dimerización luminarias Sala de reuniones

-Las 2 luminarias se dimerizan uniformemente para mantener el nivel de iluminación en la sala de reuniones adecuado.

## AULA DE CLASES



**Figura 3.9.** Dimerización Luminarias Aula de Clases

-Los ojos de buey no se dimerizan por la acción del sensor de luminosidad.

-Las luminarias dali se dimerizan mientras se tenga mayor incidencia de luz natural por las ventanas.

### 3.3.2.2 FUNCIONAMIENTO MODO MANUAL

Cuando estamos en modo manual los sensores se desactivan para que prevalezca la escena seleccionada por el usuario.

En cada una de las áreas se cuenta con una pantalla TFT en donde se pueden ejecutar las distintas escenas.

En este apartado realizamos las pruebas de funcionamiento de las mismas

Cuando se acciona una orden ya sea a través de las TFT o mediante el biométrico estas se ejecutan hasta que se cambie de orden o se cambié a modo automático en los horarios establecidos.

## AULA DE CLASES

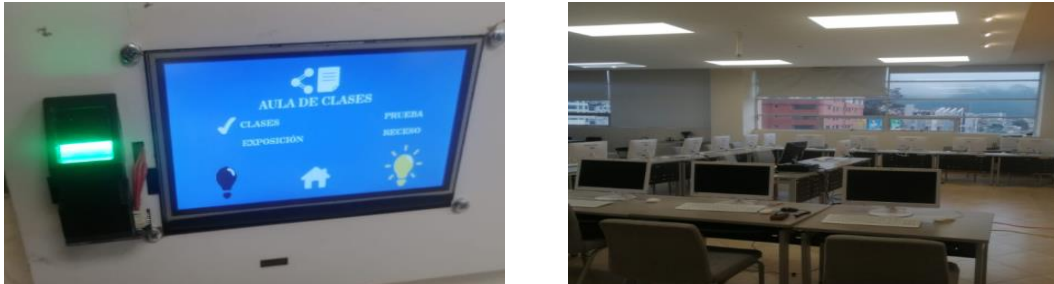
El Aula de Clases es el espacio donde se presentan mayor cantidad de eventos a realizarse, por lo cual se presentan distintas escenas.



**Figura 3.10.** Pantalla TFT Aula de Clases 216B

### Escena clases

Cuando se van a dictar clases dentro del salón es necesario se tenga una iluminación adecuada, tanto hacia los alumnos como hacia el profesor que imparte la materia.



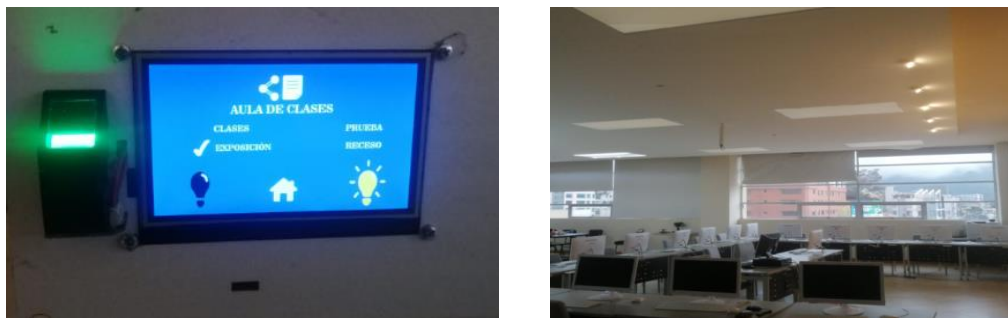
**Figura 3.11.** Escena Clases /Aula de Clases

En esta escena se considera.

- Luminarias DALI 80%
- Dicroicos LED 80%

### Escena exposición

Cuando se tiene una exposición dentro del Aula de Clases, para que se tenga mayor atención hacia la pizarra y para lo cual se atenúa las luminarias sobre los estudiantes.



**Figura 3.12.** Escena Exposición/ Aula de Clases

En esta escena se considera.

- Luminarias DALI 50%
- Dicroicos LED 80%

### Escena prueba

En el caso de una prueba ya no es necesario tener las luminarias dirigidas hacia el pizarrón que puede distraer a los alumnos, pero si se requiere se tenga una iluminación adecuada sobre los pupitres.



**Figura 3.13.** Escena Prueba/ Aula de Clases

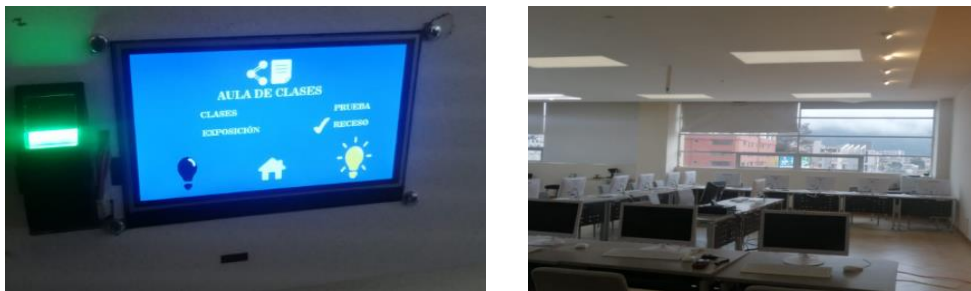
En esta escena se considera.

-Luminarias DALI 75%

-Dicroicos LED OFF

### **Escena receso**

En la etapa de receso, en donde los estudiantes ocupan para distraerse, o descansar se genera una escena donde se tiene una mayor atenuación de las luminarias.



**Figura 3.14.** Escena Receso/ Aula de Clases

En esta escena se considera.

-Luminarias DALI 50%

-Dicroicos LED 50%

### **LABORATORIO**

En el laboratorio se lo emplea como oficinas y generalmente todo el tiempo debe estar encendido, por lo cual el control en ese espacio sin acceso a luz natural, se tiene una escena de encendido y otra de apagado.



**Figura 3.15.** Escena Laboratorio

### **SALA DE REUNIONES**

En la sala de reuniones se tiene una escena especial para las actividades a realizarse, Cuando se tiene una presentación se enciende únicamente los bordes de la luminaria y cuando se requiere mayor cantidad de iluminación en el caso de que tengan reuniones se puede atenuar y encender otro tipo de luz con mayor potencia.



**Figura 3.16.** Escena Sala de Reuniones

### **3.4 COMUNICACIÓN CON MÓDULO BLUETOOTH HC-05**

El módulo Bluetooth HC-05 presentado se utiliza para establecer la comunicación entre el teléfono del usuario y el sistema de Control de iluminación para su control mediante comunicación serial. El dispositivo permite tener el Control de cada una de las áreas del Salón 216B, siendo lo adecuado para esta aplicación, su operación como esclavo, de modo que permita que los comandos sean enviados por el teléfono para ser interpretados y ejecutados por el Microcontrolador correspondiente

Es necesario indicar que, para que el sistema pueda ser controlado mediante comunicación Bluetooth, el teléfono y el módulo HC-05 deben emparejarse previamente, lo cual es posible realizar desde la configuración de dispositivos Bluetooth del teléfono. Así mismo,

es necesario que ambos dispositivos se encuentren configurados para comunicarse a la misma velocidad, 9600 baudios, por defecto.



**Figura 3.17.** Módulo de comunicación Bluetooth HC-05 [45].

El sistema de control de iluminación del salón 216B se adaptó su funcionamiento también a través de una aplicación. Ante la necesidad de mejorar cada vez el confort de los usuarios y tener un sistema conforme las nuevas tecnologías, se optó por la implementación de una aplicación en Android, capaz de ofrecer las mismas opciones de control y personalización de la unidad, haciendo uso del módulo de comunicación Bluetooth incorporado en el sanitario y del teléfono inteligente.

La aplicación se ha implementado dentro de la plataforma online de MIT App Inventor 2. App Inventor es un entorno de desarrollo basado en la nube creado por Google y el Instituto Tecnológico de Massachusetts con el objetivo de apoyar a la creación de aplicaciones para dispositivos que funcionen con el sistema operativo Android. Este entorno de programación utiliza lenguaje Scratch, un lenguaje gráfico e intuitivo creado para que, usuarios sin mayores conocimientos de programación, sean capaces de crear sus propios programas.

La utilización de la plataforma requiere de la asociación de una cuenta de correo electrónico de Google, y dentro de ella se permite diseñar la interfaz gráfica, programar y compilar el programa.

### **3.5 AHORRO GENERADO POR EL SISTEMA DE CONTROL**

Uno de los factores importantes para el ahorro energético del Salón 216B es la modificación de las luminarias fluorescentes e incandescentes a luminarias LED. Aparte de esto el empleo del sistema de Control representa un gran ahorro energético al considerar la luz natural en el espacio y el empleo de los sensores de movimiento.

Los sensores de movimiento generan un ahorro de aproximadamente de 15%, y los sensores de luminosidad producen un ahorro de casi 20%.

El nivel máximo de intensidad de las luminarias también se lo puede regular de forma de tener un ahorro adicional que puede estar en un 10%

### Ahorro con luz natural

Aprovechando que los espacios de trabajo cuentan con grandes ventanales se emplea sensores de luminosidad. Este tipo de sensores permite atenuar las luminarias según la iluminación que incide en el espacio.

Hay que considerar otros factores para el empleo de estos sensores como la iluminación generada por la propia luminaria y que incide en el sensor, así como luminarias presentes en otros espacios.



Figura 3.18. Ahorro producido por Ajuste de Atenuación de las luminarias

**Movimiento.** – Este tipo de control permite que el salón se encuentre iluminado únicamente en los espacios que se encuentren ocupados. El evitar que se queden encendidas las luminarias cuando se olvidó apagarlas representa un ahorro significativo de energía.

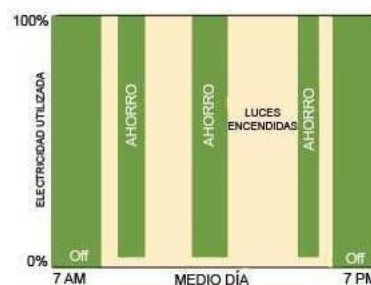


Figura 3.19. Ahorro producido por Sensores de Ocupación



**Horarios.** – Este tipo de control nos ayuda a garantizar el funcionamiento del sistema, en el caso de que el sistema no haya sido cambiado del modo manual, el sistema permite que se cambie automáticamente en el horario establecido al modo automático y se vuelva a activar el empleo de los sensores.



**Figura 3.20.** Ahorro producido por Horarios de Trabajo

En la Tabla 3.6 se presenta un comparativo entre las cargas instaladas originales con las modificadas. Aparte se presenta los porcentajes estimados de ahorro con los equipos implementados.

El horario cotidiano de funcionamiento del Salón 216 B es desde las 7 am hasta las 17 pm, sin considerar que otras veces se quedan hasta más tarde e inclusive se puede trabajar los días sábados.

Para esta tabla se consideró que las horas de trabajo en la misma es de aproximadamente 12 horas diarias por 22 días al mes.

**Tabla 3.6** Ahorro de Sistema Eficiente

PARAMETROS	SISTEMA INICIAL	SISTEMA EFICIENTE
Carga Instalada total (Kw)	1.402 KW	0.630 KW
Eficiencia mediante Atenuación (%)	0	15
Eficiencia mediante Atenuación (Kw)	0	0.0945 KW
Eficiencia con Sensor Ocupación (%)	0	10
Eficiencia con Sensor Ocupación (Kw)	0	0.063 KW
Eficiencia Sensor Luminosidad (%)	0	12
Eficiencia con Sensor Luminosidad (Kw)	0	0, 0756KW
Carga Equipos de Control (Kw)	0	0,1 KW

Carga Total	1.402KW	0,51 KW
Total horas Mensual (h)	264	264
Potencia Mensual Consumida (Kw/h)	370.128 KW /h	134.64 KW/h

Empleando sensores de movimiento, apagándolas automáticamente cuando no se encuentre ninguna persona en el espacio de trabajo, se ahorra energía desconectando la iluminación cuando no es necesario. También empleando sensores de luminosidad cuando se tiene espacios en los que se cuenta con ventanas o ingreso de luz natural.

Atenuando las luminarias y compensando con el ingreso de luz natural, sin perder los niveles de flujo luminoso adecuado para cada área.

El ingresar a un espacio y que se enciendan las luminarias sin la necesidad de aplastar un solo botón.

El no preocuparse de haber olvidado apagar unas luces y regresar de su casa a apagarlas.

Las facturas de consumo eléctrico

Es un factor muy importante al decidir emplear uno de estos sistemas de control.

### 3.5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA EFICIENTE

Para el análisis de costos de implementar el sistema, se toman en cuenta varios factores: El primer costo a considerar es el cambio de luminarias a unas más eficientes como los paneles Led.

#### Costo luminarias

**Tabla 3.7.** Costo luminarias antiguas por aula

ITEM	REFERENCIA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL RENGLON
1	LUMINARIA FLUORESCENTE	12	35.00 USD	420.00 USD
2	BALASTROS	12	10.00 USD	120.00 USD
3	TUBOS FLUORESCENTES	36	2.00 USD	72.00 USD
4	OJOS DE BUEY/TRANSFORMADOR	5	8.00 USD	40.00 USD
<b>TOTAL</b>				<b>652.00 USD</b>

**Tabla 3.8.** Costo luminarias nuevas por aula

ITEM	REFERENCIA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL RENGLON
1	PANEL LED CON DRIVER	12	90.00 USD	1080.00 USD
2	DICROICOS LED	5	4.00 USD	20.00 USD
<b>TOTAL</b>				<b>1100.00 USD</b>

Como se puede apreciar en la tabla el costo inicial de modificación de las luminarias es un valor significativo con respecto a la instalación de las luminarias tradicionales, sin embargo, hay que tomar en cuenta que los precios de estas luminarias vienen adaptados con un driver que puede ser controlado por cualquier tipo de control.

#### **Costo control de iluminación**

**Tabla 3.9.** Costo control de iluminación antiguo por aula

ITEM	REFERENCIA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL RENGLON
1	INTERRUPTORES	3	3.00 USD	9.00 USD
2	DIMMER	1	4.50 USD	4.50 USD
3	INSTALACIÓN Y CABLEADO	1	100.00 USD	100.00 USD
<b>TOTAL</b>				<b>113.50 USD</b>

**Tabla 3.10.** Costo control de iluminación nuevo por aula

ITEM	REFERENCIA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL RENGLON
1	EQUIPOS DE CONTROL	1	300.00 USD	300.00 USD
3	INSTALACIÓN Y CABLEADO	1	200.00 USD	200.00 USD
<b>TOTAL</b>				<b>500.00 USD</b>

Si bien el costo entre el sistema de control estándar y uno automatizado representa un valor significativo, el retorno a la inversión de la energía consumida que se tiene con el sistema controlado establece mayores beneficios, además de ofrecer un mayor confort en el salón de clases.

**Tabla 3.11.** Comparativo iluminación y control por aula

ITEM	REFERENCIA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL RENGLON
1	SISTEMA ANTIGUO	1	757.00 USD	757.00 USD
3	SISTEMA ACTUAL	1	1600.00 USD	1600.00 USD

### Costo Consumo eléctrico

Para los costos de energía eléctrica hay que tomar en cuenta que se tienen costos preferenciales con respecto a la cantidad de energía eléctrica que se consume.

Acorde al pliego tarifario de la Agencia de Regulación y Control de la electricidad ARCONEL para el periodo 2019, considera lo siguiente:

Las universidades y demás instituciones similares del estado son consideradas como Entidades de Beneficio público por lo que los precios de electricidad también son especiales.

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD.kW-mes)	ENERGÍA (USD kWh)
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO</b>		
1 - 100		0,045
101-200		0,048
201-300		0,051
Superior		0,089

**Figura 3.21.** Costos de energía vs rangos de consumo

**Tabla 3.12.** Energía Consumida Mensual

PARAMETROS	SISTEMA INICIAL	SISTEMA EFICIENTE
Energía Consumida Mensual (Kwh)	370.128 KWh	134.64 KWh

Por lo cual se proceda a realizar el cálculo del consumo eléctrico y realizar las comparaciones debidas.

Para los cálculos se considera la normativas del ARCONEL para los distintos pliegos tarifarios.

### Costo energía eléctrica Sistema Inicial

Para el cálculo de la energía, se sigue la normativa provista por el ARCONEL:

$$E = \text{Kwh} * \text{costo} \quad (3.1)$$

Donde Kwh es la potencia calculada con el sistema inicial para 1 hora de funcionamiento:

$$\text{Kw/h} = 370.128 \text{ Kwh} \quad (3.2)$$

Para los costos de la energía se toma en cuenta la Tabla 3.21 según los rangos de potencia consumida:

$$E_i = (100 * 0.045 + 100 * 0.048 + 100 * 0.051 + 70.128 * 0.089) \text{ USD /mensual} \quad (3.3)$$

$$E_i = 20.64 \text{ USD /mensual} \quad (3.4)$$

### Costo energía eléctrica Sistema Eficiente

$$E = \text{Kwh} * \text{costo} \quad (3.5)$$

$$\text{Kw/h} = 134.64 \text{ Kwh} \quad (3.6)$$

$$E_f = (100 * 0.045 + 34.64 * 0.048) \text{ USD /mensual} \quad (3.7)$$

$$E_f = 6.16 \text{ USD /mensual} \quad (3.8)$$

### Ahorro mensual generado

Para el cálculo del ahorro generado en consumo eléctrico se realiza la diferencia del consumo con el sistema eficiente y con el sistema inicial.

$$\text{Ahorro} = E_i - E_f = 20.64 - 6.16 \text{ USD} = 14.48 \text{ USD} \quad (3.9)$$

Al año se tendría un ahorro de 173.76 USD.

### 3.5.2 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Para poder saber el tiempo en que se puede recuperar el capital invertido en el proyecto, se realiza este cálculo en el cual consideramos los ahorros producidos por los cambios realizados.

Para nuestro Proyecto, el flujo de fondos es el valor que se paga por el consumo de energía con respecto a iluminación.

La inversión se recupera en el año en el cual los flujos de caja acumulado son mayores a la inversión inicial.

$$\text{Inversión inicial} = 843 \text{ USD} \quad (3.10)$$

$$\text{Consumo de energía anual} = 173.76 \text{ USD} \quad (3.11)$$

$$\text{Periodo de recuperación de Energía} = \mathbf{4 \text{ años } 11 \text{ meses}} \quad (3.12)$$

### 3.5.3 ANÁLISIS DEL COSTO-BENEFICIO

La relación entre el beneficio y el costo de la implementación del sistema nos permite identificar la rentabilidad que se genera al implementar el proyecto. (7)

La relación Beneficio/Costo, adquiere valores mayores, menores o iguales a 1, lo que nos permite identificar al proyecto:

Si  $B/C > 1$  El beneficio del proyecto es mayor al costo de ejecución del mismo, por lo que el proyecto es aconsejable.

Si  $B/C = 1$  El beneficio y el costo de implementación del proyecto son similares por lo que el proyecto se vuelve indiferente si se lo realiza o no.

Si  $B/C < 1$  El costo de implementación es mayor a la inversión a realizar por el proyecto.

### CÁLCULO RELACIÓN BENEFICIO COSTO

El flujo de fondos se proyecta a 5 años, tiempo en el cual se puede establecer si un proyecto es o no factible.

Utilizando el sistema de Control de iluminación diseñado:

#### Para el sistema de Control

Se considera la norma de ACB que contribuye a evitar errores comunes en la evaluación de proyectos como subestimar costos o realizar una doble contabilidad de beneficios.

$$B/C = \sum \text{Flujo de fondos} / \text{inversión} \quad (3.13)$$

El flujo de fondos se encuentra proyectado a 5 años, conociendo que el ahorro generado con el sistema es de USD 173.76. La inversión inicial es el costo de implementación del sistema.

$$B/C = 5(173.76) / 843 \quad (3.14)$$

$$B/C = 868.8 / 843 \quad (3.15)$$

$$B/C = 1.031 \quad (3.16)$$

Con estos valores podemos decir que desde el punto de vista económico el proyecto es aconsejable, ya que la inversión del mismo se la puede recuperar en un tiempo no mayor a 5 años.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo se concluye el proyecto sacando las correspondientes conclusiones que se establece luego de realizado el análisis y presentación del sistema.

Considerando que el sistema está desarrollado previsto para posteriormente se realice una ampliación o mejora del mismo, se dan las recomendaciones y sugerencias que se han evidenciado en la realización de este proyecto.

### 4.1 CONCLUSIONES

- En el diseño de cualquier tipo de instalación la iluminación es uno de los factores más importantes a considerar, la misma que es tan importante para nuestra salud visual como para alcanzar un mejor nivel de aprendizaje y concentración.
- El control de iluminación dentro de un ambiente permite configurar el espacio según los requerimientos que se tengan, crear escenas y acondicionar espacios para brindar confort y bienestar a los usuarios.
- Las luminarias Led a diferencia de los tubos fluorescentes nos brindan mayor eficiencia energética, mayor vida útil y son mucho más fácil de controlar por su bajo consumo.
- Un control eficiente de iluminación debe considerar tanto la luz artificial como la luz natural. El aprovechamiento del espacio que disponen de ventanas o nichos de luz como iluminación del ambiente genera un mayor ahorro energético.
- Una de las ventajas de las luminarias led aparte del consumo energético y vida útil que tienen, también se consideran factores como un índice de reproducción cromática alto (80-85), la temperatura de color es apropiada para cada espacio de trabajo, el flujo luminoso y la posibilidad de atenuación de las luminarias.
- El primer factor a considerar para realizar un sistema de control de iluminación es el espacio de trabajo y las actividades a realizar, ya que en base a esto determinamos el tipo de solución que se puede plantear con respecto a las instalaciones existentes y según los requerimientos se establece las características del sistema y de las luminarias



- Es recomendable que cuando se desarrolle un tipo de sistema de control de iluminación este tenga la posibilidad de posteriormente realizar mejoras o expansión del mismo, así en el caso de ampliarse el espacio de trabajo o las necesidades no se tenga que cambiar todo el cableado ni la programación sino simplemente una extensión del mismo y ajustarlo al sistema.
- Entre los tipos de control de iluminación expuestos en este trabajo, uno de los sistemas más eficaces es el Controlador DALI, la comunicación digital que maneja para su control evita controlar la carga directamente y evitando así elementos de potencia grandes.
- Para evitar estar calibrando o regulando un determinado circuito o varios a la vez mediante interruptores o dimmers, se desarrollan los controles de iluminación con la posibilidad de generar escenas establecidas que se empleen regularmente.
- El empleo de un elemento de seguridad como en este caso el sensor biométrico evita la continua manipulación de los equipos de control y aumenta la vida útil de los mismos.
- Con la modificación del tipo de luminarias, se reduce la carga instalada un 50%, sin considerar el ahorro generado con los dispositivos de control instalados.
- Si bien la inversión inicial es grande, el tiempo de retorno a la inversión de esos valores es de aproximadamente 5 años con el sistema implementado, hay que considerar que aparte del beneficio energético y económico que se tiene también se debe considerar las ventajas medioambientales que se presentan con luminarias LED al no generan tanto calor y no emitir residuos contaminantes (mercurio, CO<sub>2</sub>...) presentes en las luminarias fluorescentes.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Observando los beneficios de la modificación de las luminarias a led, es recomendable se realice una modificación paulatina de cada uno de los salones, por beneficio energético y ambientales.
- Para la comunicación de los sistemas de control se recomienda emplear cables con protecciones adecuadas y con las normas necesarias, como los Cat 5 o Cat 6, que son cables de 4 pares trenzados que permiten una comunicación adecuada del sistema.
- Al tener luminarias LED , se debe considerar que trabajan a voltaje o corriente constante, por lo cual es recomendable ubicar los transformadores o drivers a una distancia corta para evitar problemas de caída de voltaje.
- En la instalación de los equipos electrónicos es recomendable que esto se encuentre en un circuito separado del manejo de potencia, para evitar posibles daños en las tarjetas de control.
- Para espacio de estudios se recomienda emplear luminarias con temperaturas de color similares a la luz del sol, en este caso se emplearon los paneles led de 4000 K.
- Es necesario que los equipos de control no se encuentren expuestos a polvo o fluidos que pueden producir daños permanentes en los equipos.
- Para el sensor biométrico es recomendable se verifique bien la ubicación de la huella y presionar sobre el sensor, también es recomendable se pueda dar limpieza al detector biométrico, ya que dependiendo los usuarios pueden quedar rastros.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Guasch, «La iluminación en el puesto de trabajo,» *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, vol. 58, p. 14, 2019.
- [2] K. Lagos, S. Galeas y P. Pontón, «Escuela Politécnica Nacional,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.epn.edu.ec/proyectos-epn-ganadores-del-programa-inedita-fueron-premiados-por-la-senescyt-y-el-pnud/>. [Último acceso: 12 septiembre 2019].
- [3] Benítez, Luis; Benítez, Isaac; Torres, Alberto, «"Proyecto de Ahorro de Energía para un Salón de Clases implementado un Control en el Sistema de Iluminación",» Instituto Politécnico Nacional, México, 2009.
- [4] M. Navarro, «Inteligencia ambiental: entornos inteligentes ante el desafío de los procesos interferenciales,» *Eidos*, nº 15, pp. 184-205, 2011.
- [5] Ambientesi, «Ambientes Inteligentes,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.ambientesi.com/index.html>. [Último acceso: 22 junio 2019].
- [6] D. López y D. Mideros, «Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación,» *Universidad Tecnológica Equinoccial*, vol. 9, nº 1, p. 10, 2018.
- [7] Esylux, «Sensores Inteligentes del Especialista,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.esylux.es/innovaciones/iluminacion-inteligente/>. [Último acceso: 22 junio 2019].
- [8] J. Gudel y P. González, *Instalaciones eléctricas interiores*, Barcelona: Marcombo, 2012.
- [9] ECP, «Normas Eléctricas,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.ecp.ec/ingenieria-nec-se/>. [Último acceso: 30 abril 2019].
- [10] Ecoserveis, «Conceptos básicos de diseño de iluminación interior,» 2017. [En línea]. Available: [http://www.premiumlightpro.es/fileadmin/es/8\\_Conceptos\\_basicos\\_Disenio\\_de\\_iluminacion\\_interior.pdf](http://www.premiumlightpro.es/fileadmin/es/8_Conceptos_basicos_Disenio_de_iluminacion_interior.pdf). [Último acceso: 04 mayo 2019].
- [11] C. Morente, «Curso on-line de iluminación,» 2019. [En línea]. Available: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/index.php>. [Último acceso: 04 mayo 2019].

- [12] Conelec, «Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>. [Último acceso: 02 mayo 2019].
- [13] A. Creus, Instrumentación Industrial, Barcelona: Marcombo, 2011.
- [14] Pérez, Enrique; Acevedo, Jorge; Fernández, Celso; Armesto, José, Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, Barcelona: Marcombo, 2009.
- [15] M. Santos, «Sensores de huellas dactilares,» 2018. [En línea]. Available: <https://hardzone.es/2018/04/20/sensores-huellas-dactilares/>. [Último acceso: 30 abril 2019].
- [16] DomoticalIntegrada, «Domótica Integrada, la automatización inteligente en la palma de tu mano,» 2017. [En línea]. Available: <https://domoticaintegrada.com/>. [Último acceso: 01 mayo 2018].
- [17] Adafruit, «PIR Motion Sensor,» 2018. [En línea]. Available: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf>. [Último acceso: 01 mayo 2019].
- [18] Corona, Leonel; Abarca, Griselda; Mares, Jesús, Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino, Azcapotzalco: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [19] Gago, Alfonso; Fraile, Jorge, Iluminación con tecnología led, España: Parainfo, 2012.
- [20] I. Oliva, «Manual Práctico de Iluminación,» 2018. [En línea]. Available: <https://olivailuminacion.com/>. [Último acceso: 04 mayo 2019].
- [21] E. Yescas, «"Diseño e Implementación de un Sistema de Control para la Iluminación de Espectáculos basado en el Protocolo DMX512",» Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, 2009.
- [22] DiiA, «Digital Illumination Interface Alliance,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.digitalilluminationinterface.org/>. [Último acceso: 05 mayo 2019].

- [23] F. Espinosa, «Organización interna de los Microcontroladores,» 2019. [En línea]. Available: [http://www.utm.mx/~fsantiago/Micros/2\\_Organizacion\\_AVRs.pdf](http://www.utm.mx/~fsantiago/Micros/2_Organizacion_AVRs.pdf). [Último acceso: 05 mayo 2019].
- [24] Microchip, «MCU de clase mundial y potencia ultra baja para IoT y seguridad,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.microchip.com/>. [Último acceso: 22 junio 2019].
- [25] S. Williams, «¿Qué es una pantalla táctil TFT?,» 2019. [En línea]. Available: [https://techlandia.com/pantalla-tactil-tft-hechos\\_98790/](https://techlandia.com/pantalla-tactil-tft-hechos_98790/). [Último acceso: 05 mayo 2019].
- [26] AGElectronica, «AG Electrónica,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.agelectronica.com/index.php?n=pantalla+tactil+>. [Último acceso: 05 mayo 2019].
- [27] Ledex, «Ledex tu decisión más brillante,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ledex.ec/>. [Último acceso: 08 septiembre 2019].
- [28] Fulham, «Controladores LED programables,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.fulham.com/product-systems/led-systems/programmable-led-drivers/>. [Último acceso: 08 septiembre 2019].
- [29] Lutron, «Lutron Hi-lume los controladores proporcionan la atenuación más confiable y de alto rendimiento con una calidad sobresaliente y una confiabilidad superior,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.lutron.com/en-US/Products/Pages/In-FixtureTechnologies/Drivers/Overview.aspx>. [Último acceso: 08 septiembre 2019].
- [30] ElectronicaEmbajadores, «SENSOR PIR HC-SR501,» Electrónica Embajadores, 2018. [En línea]. Available: <https://www.electronicaembajadores.com/es>. [Último acceso: 08 septiembre 2019].
- [31] Itead, «Intelligent System,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.itead.cc/>. [Último acceso: 08 septiembre 2019].
- [32] Alldatasheet, «Motor de búsqueda de datasheet de componentes electrónicos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.es/>. [Último acceso: 12 septiembre 2019].

- [33] D. Hart, *Electrónica de Potencia*, Madrid: Prentice Hall, 2001.
- [34] S. Jami y J. Rivera, «"Actualización de los módulos de control de convertidores estáticos de energía AC-AC, mediante una PC: control de fase diferencial, troceador AC y control de fase directo",» Escuela Politécnica del Ejército, Sede Latacunga, Latacunga, 2009.
- [35] DigiKey, «Digi-Key Electronics,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/products/en>. [Último acceso: 13 septiembre 2019].
- [36] A. Tanenbaum, *Redes de computadoras*, Atlacomulco: Prentice Hall, 2003.

# **ANEXOS**

ANEXO A. Manual de Usuario

ANEXO B: Hojas de datos de los componentes utilizados

# ANEXO A

## MANUAL DE USUARIO

### MANUAL DE USUARIO SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN SALÓN 216B

El sistema de control de iluminación **SACI 216B**, es un sistema implementado con el fin de generar un ahorro energético y mejorar el confort de los usuarios.

#### A.1 Introducción

Este documento tiene como finalidad presentar al usuario todas las funcionalidades básicas del sistema de control.

NOTA. El sistema está configurado de forma que únicamente los usuarios autorizados pueden modificar el mismo.

#### A.2 Definición de espacios

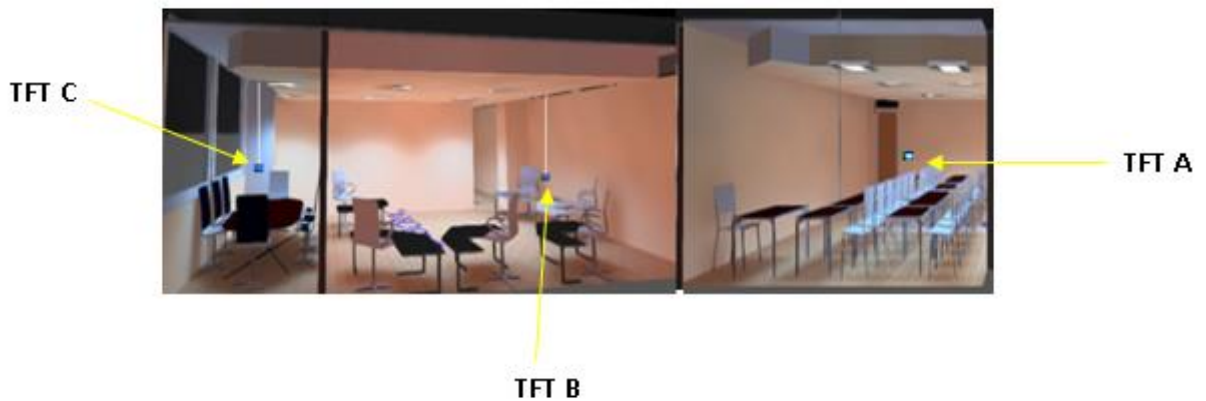


Figura A.1. Espacios de trabajo Salón 216B

#### A.3 Ubicación de Controles del sistema

Para este caso definiremos a las Pantallas táctiles de cada espacio como TFT.





**Figura A.2.** Ubicación equipos de Control Salón 216B

Donde:

- TFT A** Pantalla táctil AULA DE CLASES
- TFT B** Pantalla táctil LABORATORIO
- TFT C** Pantalla táctil SALA DE REUNIONES

#### A.4 Registro de Usuarios

Para el registro de usuarios se debe ejecutar la aplicación generada en el programa Labview, de nombre de archivo **Registro\_de\_usuarios.vi**.

**Nota.** Se puede tener un máximo de 5 usuarios registrados. En este caso se encuentran especificados como Usuarios: A, B, C, D, E.



**Figura A.3.** Registro de usuarios

## Procedimiento

1. Ejecute el programa **Registro\_de\_usuarios.vi**.
2. Conecte el cable USB entre su computador y el módulo de control TFT AULA DE CLASES.



**Figura A.4.** Conexión con tarjeta de control

3. Verificar el Puerto COM asignado en su computador.



**Figura A.5.** Verificación puerto de comunicación

4. En la pestaña VISA resource name seleccionar el puerto COM que corresponda.
5. Seleccionar uno de los usuarios.

*Nota. Cuando se selecciona un Usuario que ya ha sido registrado previamente se sustituirá por el nuevo registro de huellas dactilares.*

6. En la sección de Registros presione el tipo de registro que desea realizar:

**CAMBIO DE MODO** Permite modificar el Sistema de Modo Automático a Modo Manual o viceversa.

**ALL ON** Genera una escena de encendido total de todas las luminarias

**ALL OFF** Genera una escena de apagado total de todas las luminarias

7. Ubique una de sus huellas sobre el sensor biométrico.



**Figura A.6.** Ubicación huella dactilar

8. Para identificar que está leyendo el sensor biométrico empiezan a parpadear los leds rojo y verde de la caja TFT A.
9. Una vez detectada la huella el led de color verde se mantiene encendido.
10. Se retira la huella y se presiona nuevamente.
11. Una vez almacenada la huella las luminarias del Salón presentan un flasheo para indicar que se ha almacenado el usuario
12. Se prosigue con la siguiente huella digital con el mismo usuario.

**Recomendaciones:** Se recomienda emplear para los registros el dedo índice, medio o el anular; Los dedos pulgar y meñique no se recomienda por la dificultad de ubicación sobre el lector y dificulta su lectura.

**Colocación correcta de huella digital:**

El dedo debe ubicarse centrado en el sensor y totalmente plana.



**Figura A.7.** Colocación correcta de dedo en sensor biométrico

**Formas incorrectas de colocar su huella dactilar:**



**Figura A.8.** Formas incorrectas de colocación de huella digital

## **MODOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

El sistema tiene dos modos de funcionamiento: *Manual* y *Automático*.

### **FUNCIONAMIENTO EN MODO AUTOMÁTICO**

#### **Verificación Modo Automático**

Para verificar que el sistema se encuentra en Modo Automático en la parte superior del control del Aula de Clases se dispone de dos leds.

En Modo automático el Led Rojo debe estar encendido y Led Verde permanece apagado.



**Figura A.9.** Funcionamiento modo automático

En este Modo prevalece el funcionamiento de los sensores tanto de movimiento como los de luminosidad.

La pantalla TFT principal del sistema en este modo se encuentra deshabilitado.

### **SENSORES DE MOVIMIENTO**

1. Aula de clases
2. Laboratorio
3. Sala de reuniones

## SENSORES DE LUMINOSIDAD

1. Aula de clases
2. Sala de reuniones

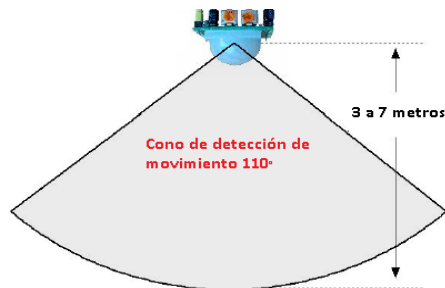
Las coberturas de los sensores de movimiento se aprecian en la figura.



**Figura A.10.** Cobertura sensores de movimiento

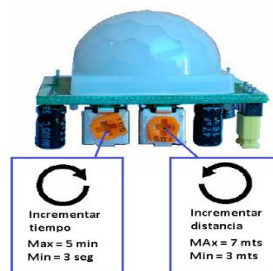
## Ajuste y configuración del sensor

En el caso de que requieran modificar la cobertura de los sensores se lo puede realizar de forma manual, considerando los rangos máximos de detección del sensor



**Figura A.11.** Distancia máxima de sensor

El usuario puede ajustar tanto el tiempo de disparo de la señal de movimiento, como la distancia de detección. Los potenciómetros correspondientes deben girarse en la dirección mostrada para realizar los ajustes.



**Figura A.12.** Configuración sensor de movimiento

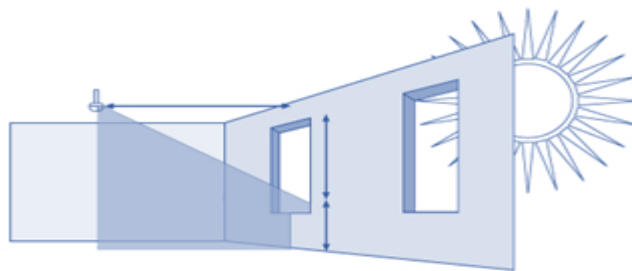
Cuando uno de los usuarios se acerque por estos espacios los sensores se activan, lo que implica que se encienda automáticamente las luminarias.

Una vez que deja de detectar los sensores de movimiento se inicia un temporizador que las pagará automáticamente.

- Sensor Aula de clases 15MIN
- Sensor Laboratorio 30MIN
- Sensor Sala de reuniones 15MIN

Los tiempos se determinan en función de las actividades a realizar evitando que las luce se apaguen mientras se encuentra alguien en el área de trabajo.

En los espacios como las Sala de Reuniones y el Aula de Clases al tener la presencia de sensores de luminosidad las luminarias se atenúan.



**Figura A.13.** Funcionamiento sensor de luminosidad

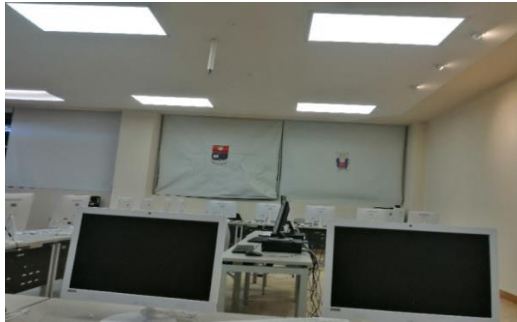
### Funcionamiento

**Persianas abiertas.** - Las luminarias se atenúan como parte del ahorro energético del sistema.



**Figura A.14.** Iluminación con persianas abiertas

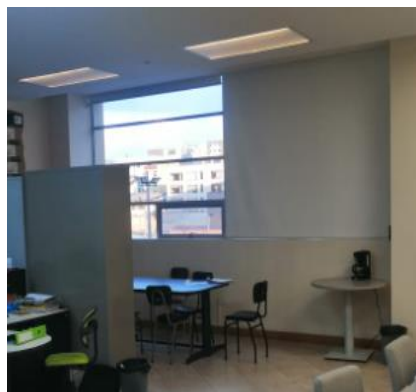
**Persianas cerradas.** - Las luminarias incrementan su intensidad de iluminación para tener el nivel apropiado para el aula.



**Figura A.15.** Iluminación con persianas cerradas

### **Sala de Reuniones**

**Persianas abiertas,** ingreso luz natural las luminarias se atenúan.



**Figura A.16.** Iluminación en sala de reuniones persianas abiertas

**Persianas cerradas** No hay ingreso luz natural las luminarias aumentan su intensidad.



**Figura A.17** Iluminación en sala de reuniones persianas cerradas

Estas luminarias permiten el cambio de temperatura de color mediante la TFT SALA DE REUNIONES



**Figura A.18.** Cambio de temperatura de color luminarias sala de reuniones

Después de 15 min que salga cualquier persona de cada uno de los espacios, el sensor de cada espacio debe ejecutar la orden de apagar las luces del espacio.

Mientras no se haya accionado ninguna acción desde las TFT, las luminarias continúan según los niveles de encendido del sensor de presencia y se evalúa los niveles con el sensor de luminosidad.

#### **Verificación Modo Manual**



**Figura A.19.** Funcionamiento Modo Manual

En modo Manual se desactiva el funcionamiento de los sensores de movimiento y da paso a las pantallas TFT para generar las escenas establecidas.



## FUNCIONAMIENTO TFT AULA DE CLASES

- PANTALLA PRINCIPAL

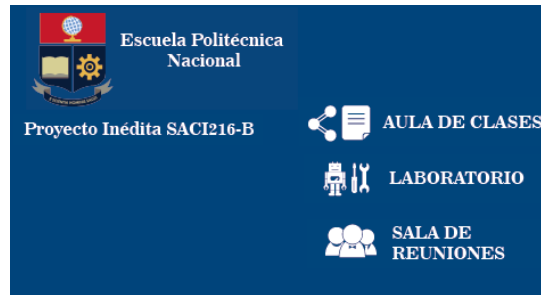


Figura A.20. Pantalla principal TFT Aula de Clases

## BOTÓN AULA DE CLASES

Al presionar el botón AULA DE CLASES se nos despliega una nueva ventana:



Figura A.21. Botón aula de clases

En esta ventana se puede tener acceso a cada una de las escenas establecidas para el funcionamiento del Aula de Clases.

### Escena clases

Al presionar se genera una escena con los siguientes niveles de iluminación:

- Paneles led al 80%
- Dicroicos LED 80%

### Escena exposición

Al presionar se genera una escena con los siguientes niveles de iluminación:

-Paneles led al 50%

-Dicroicos LED 80%

### **Escena prueba**

Al presionar se genera una escena con los siguientes niveles de iluminación:

-Paneles led al 75%

-Dicroicos LED OFF

### **Escena receso**

Al presionar se genera una escena con los siguientes niveles de iluminación:

- Paneles led al 50%

-Dicroicos LED 50%

### **Botón**

Se genera una escena de encendido total de las luminarias del aula de clases.

### **Botón**

Se genera una escena de apagado total de las luminarias del aula de clases.

### **BOTÓN**

Al presionar este botón, permite regresar a la pantalla principal.

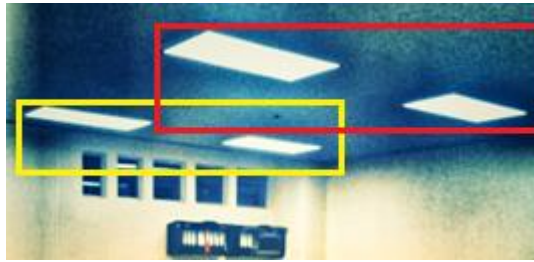
### **BOTÓN LABORATORIO**

Al presionar el botón LABORATORIO se nos despliega una nueva ventana:



**Figura A.22.** Botón Laboratorio

El laboratorio se encuentra dividido en 2 zonas de iluminación



**Figura A.23.** Zonas de iluminación laboratorio

Cada una de las zonas de iluminación tiene sus botones de encendido y apagado manual.

*Nota. Estas luminarias no son dimerizables.*

**BOTÓN** 

Al presionar este botón, permite regresar a la pantalla principal.

### **BOTÓN SALA DE REUNIONES**

Al presionar el botón SALA DE REUNIONES se nos despliega una nueva ventana:



**Figura A.24.** Botón Sala de Reuniones

En la sala de reuniones se cuenta con paneles led que cambian de temperatura de color.

El primer botón dimerizables, permite atenuar las luminarias en luz cálida.

El segundo botón permite el encendido y apagado de las luminarias en luz fría.

**BOTÓN** 

Al presionar este botón, permite regresar a la pantalla principal.

## **CONTROL DESDE APP CELULAR, CONECTADO POR BLUETOOTH**

### **Instalación de la Aplicación**

Utilice el Código QR de la Figura A-6 para Instalar la aplicación. Se iniciará la descarga del archivo. apk



**Figura A.25.** Código QR para descargar aplicación



AL presionar este botón se establece la conexión con el dispositivo Bluetooth

La aplicación móvil cuenta con los mismos comandos de control que el panel de control.



**Figura A.26.** Aplicación desarrollada para el sistema de control

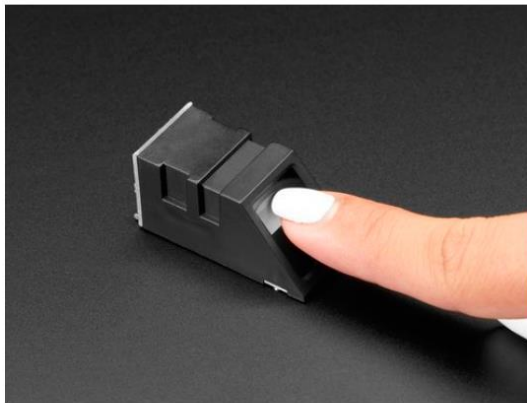
# ANEXO B

## HOJAS DE DATOS DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS

### B.1 Datasheet Sensor Biométrico

#### Adafruit Optical Fingerprint Sensor

Created by lady\_ada



Last updated on 2018-11-14 05:50:07 PM UTC

A photograph of a sensor's back with a white header. Four black wires are connected to the first four pins. Labels 'GND', 'RX', 'TX', and 'VCC' are placed above the wires. A red arrow points to the top of the sensor, labeled 'TOP'. A label 'NC' is placed above the fifth pin.

If your sensor has all the same-color wires, The first wire from the left is ground, then the two data pins, then power. You'll have to cut, strip and solder the wires.

RX is the same as the White wire  
TX is the same as the Green wire

A photograph of a sensor's back with a white header. Four colored wires (black, white, green, red) are connected to the first four pins. The sensor is placed on a breadboard.

If your sensor has different wires, The first wire from the left should be the black wire ground, then the two data pins, RX is the white wire, TX is the green wire then the red power wire. You'll have to cut, strip and solder the wires.

## B.2 Datasheets Drivers DALI



### T1A1UNV105P-40E SPECIFICATIONS



- Programmable LED Driver
- Output Wattage: 40W
- Universal Voltage (120V-277V)
- CC Programmable 250-1050mA
- DALI Dimming
- Long Case and Terminal
- Output voltage range of 10-57VDC

#### General Specifications

Input Voltage	120-277VAC, 50/60 Hz
Input Current	0.41A@120V, 0.18A@277V
Input Power	47W
NTC Input	Ext. NTC Derating Resistance Range: 1k to 51k Ohm programmable. Default/Recommended Ext. NTC P/N: YSM2A204, SMD0805, Thinking Electronic
Power Factor	>0.92
THD	<10%
Efficiency	85% Typical@277V Full Load
Driver Type	Constant Current
Output Current	250-1050mA Programmable; See Label for Set Current; To Program Use R-SET (Figure 1) or TP5B100 (Programmer); Record New Setting On 1" x 0.5" Label
Output Voltage Range	10-38VDC (250-1050mA), 10-40VDC (250-100mA), 10-57VDC (250-700mA)
Output Power	40W Max. (Figure 4)
Number of Output Channels	1 Channel
Dimming Controller Type/Dimming Range	DALI / 100%-0% (Figure 2, Figure 3)
RF/EMI	FCC Part 15B Consumer, EN55015
Output Type	LED Class 2
Ambient Operating Temperature Range	-40°C to 60°C (-40°F to 140°F)
Max. Case Temperature	88°C (190.4°F)
Sound Rating	A
Input Surge Protection	Line-Neutral 2kV, Line & Neutral-Ground 4kV
Protections	Input Current Protection
	Output Short Circuit Protection
	Output Open Circuit Protection
	Output to Ground Short Protection
	Overload Protection
Over Temperature Protection	Yes
Runtime Counting of Every 10 Degrees	Yes
Service Life	50,000 hours @Tc 82°C (179.6°F)
Approvals / Class	cULus, LED Class 2, Type TL, Dry or Damp Locations, CE, SELV, RoHS
Warranty	5 years

Figure 1

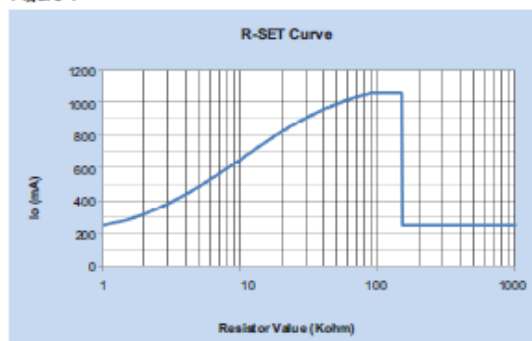
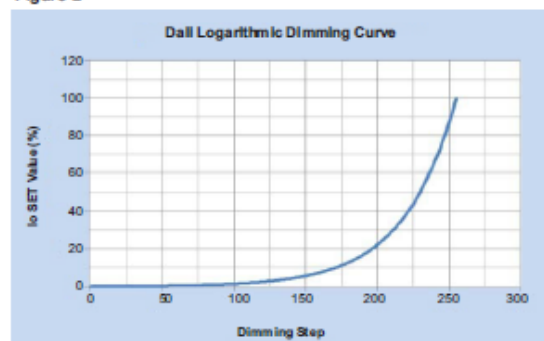


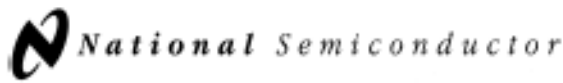
Figure 2



Fulham extends a limited warranty to the original purchaser or first user for a period of 5 years @ Tc 82C from the date of manufacture when properly installed and operated under normal conditions of use. For complete terms and conditions, please refer to the Warranty Center at [www.fulham.com](http://www.fulham.com). Specifications subject to change without notice

2015-559-1 REV C

## B.3 Datasheets RS-485



July 1998

### DS75176B/DS75176BT Multipoint RS-485/RS-422 Transceivers

#### General Description

The DS75176B is a high speed differential TRI-STATE® bus/line transceiver designed to meet the requirements of EIA standard RS485 with extended common mode range (+12V to -7V), for multipoint data transmission. In addition, it is compatible with RS-422.

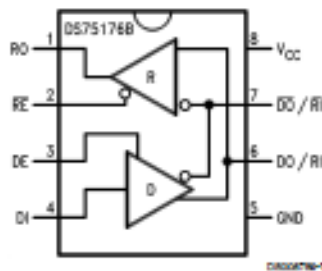
The driver and receiver outputs feature TRI-STATE capability, for the driver outputs over the entire common mode range of +12V to -7V. Bus contention or fault situations that cause excessive power dissipation within the device are handled by a thermal shutdown circuit, which forces the driver outputs into the high impedance state.

DC specifications are guaranteed over the 0 to 70°C temperature and 4.75V to 5.25V supply voltage range.

#### Features

- Meets EIA standard RS485 for multipoint bus transmission and is compatible with RS-422.
- Small Outline (SO) Package option available for minimum board space.
- 22 ns driver propagation delays.
- Single +5V supply.
- -7V to +12V bus common mode range permits  $\pm 7V$  ground difference between devices on the bus.
- Thermal shutdown protection.
- High impedance to bus with driver in TRI-STATE or with power off, over the entire common mode range allows the unused devices on the bus to be powered down.
- Pin out compatible with DS3695/A and SN75176A/B.
- Combined impedance of a driver output and receiver input is less than one RS485 unit load, allowing up to 32 transceivers on the bus.
- 70 mV typical receiver hysteresis.

#### Connection and Logic Diagram



Top View

Order Number DS75176BN, DS75176BTN, DS75176BM or DS75176BTM  
See NS Package Number N08E or M08A

TRI-STATE is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

DS75176B/DS75176BT Multipoint RS-485/RS-422 Transceivers

## B.3 Datasheets Sensor de Movimiento

### 1. Principios de funcionamiento:

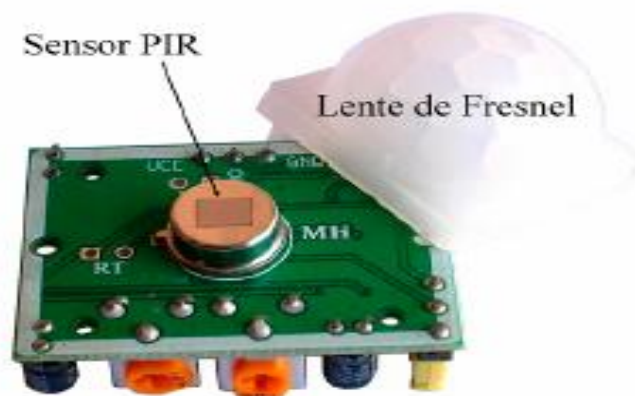
#### *La radiación infrarroja:*

Todos los seres vivos e incluso los objetos, emiten radiación electromagnética infrarroja, debido a la temperatura a la que se encuentran. A mayor temperatura, la radiación aumenta. Esta característica ha dado lugar al diseño de sensores de infrarrojo pasivos, en una longitud de onda alrededor de los 9.4 micrones, los cuales permiten la detección de movimiento, típicamente de seres humanos ó animales.

Estos sensores son conocidos como PIR, y toman su nombre de 'Pyroelectric Infrared' ó 'Passive Infrared'.

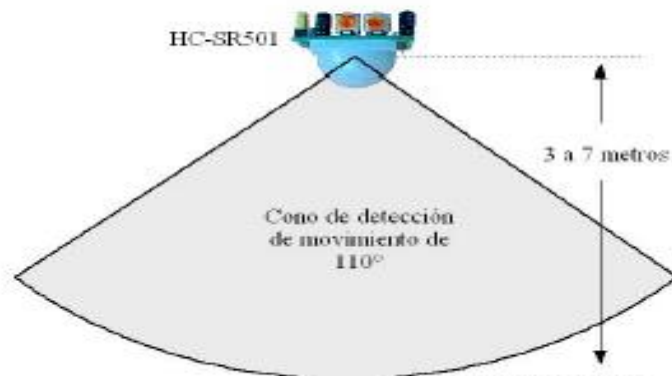
#### *El lente de Fresnel:*

El lente de Fresnel es un encapsulado semiesférico hecho de polietileno de alta densidad cuyo objetivo es permitir el paso de la radiación infrarroja en el rango de los 8 y 14 micrones. El lente detecta radiación en un ángulo con apertura de 110° y, adicionalmente, concentra la energía en la superficie de detección del sensor PIR, permitiendo una mayor sensibilidad del dispositivo.



#### *Rango de detección de los sensores PIR:*

Como se indicó anteriormente, el rango de detección de movimiento de los PIR es ajustable y generalmente funcionan con alcances de hasta 7 metros, y con aperturas de 90° a 110°, como se muestra en la figura. El montaje del PIR puede realizarse tanto en piso, muro ó techo, según convenga a la aplicación.





## ORDEN DE EMPASTADO