

**MONITORIZACIÓN INALÁMBRICA (TELEMEDIDA) DE UN SISTEMA DE
ILUMINACIÓN AUTOMATIZADO. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.**

DANIEL FERNANDO MANTILLA PARRA

JHOAN SEBASTIAN NIETO CÁRDENAS

JOSÉ DAVID OROZCO CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE

TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2016

MONITORIZACIÓN INALÁMBRICA (TELEMEDIDA) DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN AUTOMATIZADO. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.

**DANIEL FERNANDO MANTILLA PARRA
JHOAN SEBASTIAN NIETO CÁRDENAS
JOSÉ DAVID OROZCO CASTAÑEDA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director:

**GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO
Ingeniero Electricista, MSc.**

Codirectores:

**Dr. GABRIEL ORDOÑEZ PLATA.
Ingeniero Electricista, Ph.D.**

**LAURA JAZMÍN AMADO DUARTE
Ingeniera Electrónica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2016



**ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS
DE INVESTIGACIÓN O TESIS Y AUTORIZACIÓN
DE SU USO A FAVOR DE LA UIS**

Yo, Jhoan Sebastián Nieto Cárdenas, mayor de edad, vecino de Bucaramanga, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1.053.335.703 de Chiquinquirá, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado, del trabajo de investigación, o de la tesis denominada(o): **MONITORIZACIÓN INALAMBRICA (TELEMEDIDA) DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN AUTOMATIZADO. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**, hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma.

PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, **EL AUTOR / ESTUDIANTE**, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los Veinticuatro (24) días del mes de Mayo de 2016.

EL AUTOR / ESTUDIANTE:

Jhoan Sebastián Nieto Cárdenas
C.C. 1.053.335.703 de Chiquinquirá



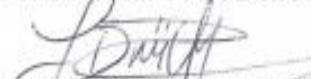
**ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS
DE INVESTIGACIÓN O TESIS Y AUTORIZACIÓN
DE SU USO A FAVOR DE LA UIS**

Yo, José David Orozco Castañeda, mayor de edad, vecino de Bucaramanga, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1.098.699.082 de Bucaramanga, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado, del trabajo de investigación, o de la tesis denominada(o): **MONITORIZACIÓN INALAMBRICA (TELEMEDIDA) DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN AUTOMATIZADO. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**, hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los Veinticuatro (24) días del mes de Mayo de 2016.

EL AUTOR / ESTUDIANTE:


José David Orozco Castañeda
C.C. 1.098.699.082 de Bucaramanga

DEDICATORIA

Agradezco profundamente a mis padres por la paciencia y fe que tuvieron en mí a lo largo de mi carrera, también a Eliana Briceño, Felipe Ortega y Sebastián López por el apoyo y la incondicional ayuda que me brindaron en la edición y redacción de este texto.

A mis amigos y compañeros que vi pasar a través de la carrera y todo aquel que en algún momento o de alguna manera me ayudó a llegar a esta instancia final.

Ojalá el tiempo y el espacio no logren romper los buenos lazos formados en esta etapa.

Daniel Fernando Mantilla Parra.

DEDICATORIA

*A Dios, María Adelaida, Hernando de Jesús, María Fernanda, Manuel Alejandro, Adelaida,
Dolores y Guadalupe.*

“La utopía hecha realidad”

Sebastián Nieto Cárdenas.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a todas aquellas personas que me ayudaron y que hicieron parte de mi formación profesional especialmente:

A mis padres JOSE MANUEL OROZCO HERNANDEZ Y MARIA DEL ROSARIO CASTAÑEDA SANDOVAL ya que sin su esfuerzo no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A mis hermanas ANGIE OROZCO y GERALDINE OROZCO.

A ti, porque a pesar de todo siempre has estado a mi lado apoyándome incondicionalmente.

A todos los compañeros caídos a lo largo de este proceso, ya que sin su ayuda de alguna u otra manera no hubiese sido posible alcanzar este logro.

A todos los demás nombrados y sin nombrar que DIOS los bendiga y estaré eternamente agradecido con ustedes, gracias totales.

DAVID.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	21
1.1 FORMULACIÓN Y DECLARACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO DE GRADO	23
1.3 ALCANCES.....	25
1.4 MONITORIZACIÓN.....	27
1.4.1 Descripción de la Monitorización	28
1.4.2 Elementos para la monitorización.....	29
1.5 ESTRUCTURA DEL REPORTE DE INVESTIGACIÓN.....	29
2 MARCO TEÓRICO.....	31
2.1 COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS “WIRELESS”	31
2.2 ZIGBEE.....	32
2.2.1 Características Zigbee.....	32
2.2.2 Tipos de tráfico de datos.....	33
2.3 SENSORES	34
2.4 SENSOR DE ILUMINACIÓN.....	35
2.5 SELECCIÓN DEL SENSOR DE ILUMINANCIA	36
2.5.1 Sensor de luz BH1750FVI.	37
2.5.2 Sensor de luz Opt3001.	38
2.5.3 Sensor Niessen KNX	39
2.5.4 Sensor LX1972IBC-TR.	39
2.5.5 Sensor DFR0026.	39
2.6 SENSOR DE OCUPACIÓN	40

2.7	TARJETAS DE DESARROLLO	42
2.7.1	Arduino	43
2.7.2	Raspberry Pi.....	44
2.7.3	BeagleBone Black.	45
2.8	MÓDULO XBEE	46
3	DISEÑO, CONFIGURACIÓN PREVIA DE MÓDULOS Y SENSORES.....	48
3.1	DISEÑO DE LA ETAPA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	48
3.1.1	Configuración del módulo Xbee dm 2.4 conectado a la tarjeta de desarrollo. 49	
3.1.2	Conexión de la tarjeta de desarrollo a una red <i>WiFi</i>	51
3.2	DISEÑO DE LA ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	51
3.3	OBTENCIÓN DE DATOS DEL SENSOR DE LUZ BH1750FVI	52
3.3.1	Bus de datos I2C.....	53
3.3.2	Conexión y configuración Sensor BH1750FVI con la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi.	54
3.3.3	Desarrollo código fuente para la lectura del sensor de luz.	54
3.4	AJUSTE PROPORCIONAL DE LOS SENSORES DE ILUMINANCIA.....	55
3.5	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SENSOR DE PRESENCIA OSCxx-MOW.	60
3.5.1	Acondicionamiento de la señal de presencia del sensor OSCxx-MOW a la tarjeta de procesamiento Raspberry Pi.	62
3.6	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO	65
3.6.1	Características del medidor Monofásico.	67
3.6.2	Configuración del Medidor Monofásico.....	68
3.6.3	Obtención de datos del medidor Monofásico.....	68
3.6.4	Tarjeta de recolección de datos <i>Multi Metering Manager</i>	69
4	DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA.....	71
4.1	BASE DE DATOS	71

4.2	DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA UTILIZANDO LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN JAVA	73
4.2.1	Interfaces del sistema	74
4.2.2	Pantalla de Inicio de	74
4.2.3	Módulo principal.....	75
4.2.4	Ventana comparativa.....	76
5	IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	78
5.1	IMPLEMENTACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO EN EL SALÓN 302 DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	78
5.2	IMPLEMENTACIÓN DEL OPTOACOPLADOR Y PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE PRESENCIA	80
5.3	INSTALACIÓN DE LOS SENSORES DE ILUMINANCIA BH1750FVI.....	81
5.4	IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO PRINCIPAL DE RECEPCIÓN, PROCESAMIENTO Y ENVÍO DE DATOS	84
5.5	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA PRINCIPAL.....	85
5.6	UNIFICACIÓN DE FASES Y PUESTA EN MARCHA DE LA INTERFAZ GRÁFICA	87
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	91
6.1	RESULTADOS DEL SALÓN 302.....	92
6.2	CÁLCULO DEL FACTOR DE CONSUMO (kW/m ²) PARA LAS AULAS 302, 206 Y 204 DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.....	102
7	CONCLUSIONES.....	106
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	118
	ANEXOS.....	118

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de monitorización.....	28
Figura 2. Tarjeta de desarrollo Arduino [31].....	43
Figura 3. Tarjeta de desarrollo Raspberry pi [34].....	44
Figura 4. Tarjeta de desarrollo Beaglebone Black [36].	45
Figura 5. Comunicación inalámbrica del sistema.....	49
Figura 6. Relación entre sensor y luxómetro expuestos a luz artificial.....	58
Figura 7. Relación entre el sensor y el luxómetro expuestos a luz natural.	58
Figura 8. Relación sensor y luxómetro expuestos a luz natural (rango alto).....	59
Figura 9. Conexión Sensor de presencia OSCxx-MOW con el Power Pack OSPxx [30].....	62
Figura 10. Simulación del Optoacoplador con el software Orcad [49].....	63
Figura 11. Simulación optoacoplador con el software Orcad[49].	64
Figura 12. Medidor Monofásico YTL (UIS-ESSA).	66
Figura 13. Conexión del Medidor Monofásico YTL (UIS ESSA)[50].	66
Figura 14. Información entregada por la tarjeta M3 al módulo central [imagen de minicom].	69
Figura 15. Ventana de inicio sesión.	74
Figura 16. Ventana del módulo principal de la interfaz gráfica.....	75
Figura 17. Gráficas comparativas.	76
Figura 18. Ubicación del medidor monofásico YTL (UIS-ESSA).....	79
Figura 19. Instalación del medidor monofásico YTL (UIS-ESSA) y la tarjeta M3...80	80

Figura 20. Fotografía del circuito del optoacoplador.	81
Figura 21. Instalación de los sensores BH1750FVI en el aula 302	83
Figura 22. Instalación de los sensores de iluminancia.	83
Figura 23. Módulo principal de procesamiento de los datos	85
Figura 24. Conexión I2C.....	86
Figura 25. Plano del salón 302 (Edificio IEET). [Plano propiedad de la escuela de IEET].....	88
Figura 26. Ejemplo de gráfica de corriente en la interfaz.	89
Figura 27. Ejemplo de gráfico de 3 filas realizado por la interfaz gráfica	90
Figura 28. Comportamiento de la corriente en el salón 206.....	93
Figura 29. Comportamiento de la tensión en el salón 302	94
Figura 30. Ocupación del salón 302.....	95
Figura 31. Comportamiento del factor de potencia en el salón 302.	96
Figura 32. Comportamiento de la iluminancia medida por los sensores 1 y 2	97
Figura 33. Comportamiento de la potencia activa en el salón 302.....	98
Figura 34. Comportamiento de la potencia reactiva en el salon 302.	99
Figura 35. Análisis del comportamiento de la iluminancia junto a la presencia en el salón 302.	100
Figura 36. Análisis del comportamiento de la potencia junto a la presencia en el salón 302.	101
Figura 37. Lámparas instaladas en los salones	103
Figura 38. Relación entre área y potencia consumida por las luminarias.	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Antecedentes.	23
Tabla 2. Objetivos y alcances.	25
Tabla 3. Comparativa de tecnologías 'Wireless' [12].	31
Tabla 4. Características de la tecnología ZigBee [16].	33
Tabla 5. Transmisión de datos Zigbee [17].	33
Tabla 6. Características del sensor de luz BH1750FVI [19].	37
Tabla 7. Características del Sensor de luz Opt3001 [20].	38
Tabla 8. Sensores de ocupación con tecnología doble.	41
Tabla 9. Comparación de las tarjetas de desarrollo [35].	45
Tabla 10. Niveles de iluminancia recomendados [40].	55
Tabla 11. Características del medidor monofásico.	67
Tabla 12. Características de la tarjeta Multi Metering Manager.	69
Tabla 13. Sistemas de gestión de bases de datos.	72
Tabla 14. Cantidad de lámparas y área de los salones.	102
Tabla 15. Potencia e índice de potencia/área en cada salón.	104

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Desarrollo de código para la visualización de la información proveniente de los sensores de iluminancia.....	118
ANEXO B. Descripción del código en lenguaje c para la obtención de la información del medidor monofásico (comunicación serial con xbee).....	122
ANEXO C. Desarrollo del código en lenguaje c para la visualización de la información proveniente del sensor de ocupación.....	124
ANEXO D. Desarrollo del código en lenguaje c del programa principal final (incluye la manera de subir los datos a mysql).	126
ANEXO E. Tabla comparativa del módulo xbee contra el módulo xbee pro 2.4. .	136
ANEXO F. Tablas de las mediciones realizadas con los sensores de iluminancia bh1750fv y el luxómetro en diferentes condiciones de iluminación.....	137
ANEXO G. Ejemplo de la base de datos utilizando phpmyadmin.....	139
ANEXO H. Tabla de comandos java para la creación de la interfaz gráfica.	140
ANEXO I. Cálculo de la incertidumbre de las mediciones.....	145

RESUMEN

TÍTULO: MONITORIZACIÓN INALÁMBRICA (TELEMEDIDA) DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN AUTOMATIZADO. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN*.

AUTORES: JHOAN SEBASTIAN NIETO CÁRDENAS
DANIEL FERNANDO MANTILLA PARRA
JOSE DAVID OROZCO CASTAÑEDA**

PALABRAS CLAVES: Monitorización Inalámbrica, Módulo *Zigbee*, Comunicación inalámbrica, Sensores, Java, *Raspberry Pi*, MYSQL.

El presente trabajo de grado permitió el desarrollo de un sistema de monitorización inalámbrica para tres aulas del edificio de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Este sistema envía inalámbricamente información de tensión RMS, corriente RMS, ocupación y nivel de iluminancia a una base de datos. A esta información se puede acceder en tiempo real e histórico mediante una interfaz gráfica capaz de ilustrar el comportamiento de dichas variables.

Al inicio del proyecto se definieron 3 etapas principales, cada una compuesta por sub-etapas. La etapa central, llamada módulo principal, es la encargada del procesamiento de datos provenientes de los sensores; esta procesa, recibe y envía la información a la base de datos. La tarjeta *Raspberry Pi* fue seleccionada para realizar dichas tareas, debido a su bajo costo, alta capacidad de procesamiento y fácil conexión con los demás dispositivos.

Posteriormente se definieron los sensores y demás dispositivos de medición que mejor se ajustaran al diseño y los requerimientos de la tarjeta de desarrollo; además se definieron dos formas de comunicación inalámbrica, una a través de *Zigbee* y la otra a través de *Wi-Fi*. Por último, se desarrolló una interfaz gráfica, donde el usuario accede a toda la información, la cual se diseñó y ejecutó fundamentados en el asistente de bases de datos MYSQL y lenguaje de programación Java.

El resultado final fue creación de un sistema estable en la tarjeta *Raspberry Pi*, capaz de recibir los datos de las variables eléctricas entregadas por un medidor monofásico digital, manejar dos sensores de iluminancia simultáneamente y un sensor de presencia; añadiendo estos valores a una

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Germán Alfonso Osma Pinto Codirectores: Gabriel Ordoñez Plata. y Laura Jazmín Amado Duarte

ABSTRACT

TITLE: WIRELESS MONITORING (TELEMETRY) OF AN AUTOMATED LIGHTING SYSTEM. DESIGN AND IMPLEMENTATION*.

AUTHORS: JHOAN SEBASTIAN NIETO CÁRDENAS
DANIEL FERNANDO MANTILLA PARRA
JOSÉ DAVID OROZCO CASTAÑEDA**

KEY WORDS: Monitoring, ZigBee Module, I^2C communication, Sensors, MYSQL, Raspberry, Java.

This professional degree worksheet, allowed the development a Wireless monitoring system for three of the rooms on the “*Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones*” building from the “*Universidad Industrial de Santander*” campus. This system sends (wirelessly) information about voltage (RMS), current (RMS), active power, reactive power, active energy, reactive energy, power factor, occupancy and illuminance level into a data-base. Those information you can access at real time through a friendly user interface, ready to illustrate those variable's behavior.

At the beginning of this Project were defined three principal phases, each one composed by sub-phases. The preponderant phase, called *Main Module*, processes the information coming from the sensors. It receives, processes and sends the information to the data-base. The *Raspberry Pi* board was chosen for this development, because of its low cost, high process capacity and easy connection with other devices.

After that the sensors were defined by their best fit for our design and *Raspberry Pi* board requirements; also, were defined two wireless communication ways, one through *Zigbee* and the other through *Wi-Fi*. At last, the development of graphic interface, where the user has access to all information, which was designed and developed on Java and MySQL.

The design and implementation of this project, built the foundations for future projects based in control and optimization of associated variables. As we have all access at the information in real time and historical time we can look for strategies for rational use of energy.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Germán Alfonso Osma Pinto Codirectores: Gabriel Ordoñez Plata. y Laura Jazmín Amado Duarte

INTRODUCCIÓN

En la ingeniería moderna es indispensable realizar un seguimiento detallado de las variables presentes en cualquier sistema, de tal forma que es de gran relevancia monitorizar cada una de éstas, para así obtener datos continuamente acerca de dicho sistema. Lo anterior, aplicado al uso racional de la energía en un sistema de iluminación de un recinto, es una herramienta útil a la hora de conocer cuánta energía es consumida y como es el comportamiento lumínico, esto sumado a otras variables de consumo energético como tensión, corriente entre otros. Con base en esto, grupos de investigación como GISEL[‡] de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones han liderado diversos trabajos de grado con el fin de desarrollar estrategias que permitan ejecutar estas propuestas. La dinámica de este proyecto hace parte de dichas estrategias y busca realizar la implementación de un sistema de monitorización de variables importantes como la intensidad lumínica en diferentes áreas del recinto, la ocupación, tensión y corriente consumida. En ese sentido adopta una gran relevancia en aspectos como el uso racional de la energía, así mismo este proyecto hace parte de una propuesta de investigación de maestría titulada “Metodología de Diseño para Sistemas de Iluminación Híbrido (natural y artificial) Automatizado en Espacios Interiores”[1][2][3].

Durante el desarrollo de este trabajo se diseñó e implementó un sistema de monitorización inalámbrico capaz de entregar información sobre voltaje RMS, corriente RMS, ocupación y nivel de iluminación de tres salones ubicados en el edificio de Ingeniería Eléctrica, basados en los preceptos del uso racional de la

[‡] GISEL: Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica.

energía (URE) y cimentando bases para futuros proyectos de grado, donde se pudieran controlar y optimizar dichas variables.

Este proyecto se estructura en cinco secciones. En la primera parte se realiza una breve revisión bibliográfica que sustenta la investigación, y se expone la recopilación de la información correspondiente para la selección y programación de los dispositivos presentes para la monitorización. En la segunda sección se presenta el desarrollo de códigos, la configuración de dispositivos, y las pruebas preliminares. Posteriormente se habla de la etapa de adquisición de información proveniente de los sensores de iluminancia, sensor de presencia y medidor monofásico de la ESSA[§]. La cuarta parte es la etapa de recepción, procesamiento y envío de datos. En la quinta sección se presenta la Interfaz gráfica, desarrollada con el asistente de bases de datos MYSQL y lenguaje de programación Java. Para finalizar, se exponen los datos obtenidos por el sistema, las conclusiones y recomendaciones para investigaciones futuras.

[§] ESSA: Electrificadora de Santander S.A E.S.P.

1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

A continuación se presenta una descripción detallada de la propuesta de investigación, posteriormente se plantea el problema a solucionar, los objetivos y la metodología de desarrollo del trabajo de grado.

1.1 FORMULACIÓN Y DECLARACIÓN DEL PROBLEMA

La ejecución de aplicaciones sostenibles en edificaciones ha aumentado su popularidad, ya que es una necesidad en la sociedad actual;. Optar por edificios que gestionan sus recursos de manera inteligente, y toman decisiones sobre la base de la información obtenida en tiempo real, es decir, información recopilada al monitorizar el comportamiento de variables que tienen influencia directa sobre el consumo energético de estos, se convierte en un objetivo para quienes los construyen o habitan. Para tener acceso continuo a dicha información, es indispensable contar con estrategias que permitan monitorizar continuamente dicho sistema.

En síntesis, actualmente el edificio de IEET** no cuenta con herramientas que le permitan evaluar continuamente las variables del sistema de iluminación y el consumo energético. Esto implica, plantear soluciones como la implementación de

** Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

sistemas de monitorización que arrojen mediciones de intensidad lumínica, corriente y tensión, que indican bajo un análisis posterior cómo es el comportamiento lumínico en el espacio.

El desarrollo de ese tipo de proyectos plantea un precedente para futuros trabajos enfocados en optimización y control de un sistema de iluminación para un recinto, que conlleva a la aplicación de metodologías para el uso racional de la energía. Así mismo, este trabajo de grado está fundamentado en proyectos previamente realizados en la Universidad Industrial de Santander, que destacan y desarrollan una metodología similar.

Para la solución del problema planteado se fijó como objetivo principal diseñar e implementar un sistema de monitorización inalámbrica, para la medición de la iluminación, corriente, tensión y presencia de un área de trabajo, con la finalidad de procesar los datos obtenidos para su uso en tiempo real e histórico.

Del objetivo general se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la operación de un aula del Edificio de IEET según presencia, nivel de iluminación, tensión eficaz, corriente eficaz y factor de potencia.
- Diseñar la etapa de adquisición de datos tales como: presencia, nivel de iluminación, tensión eficaz y corriente eficaz.
- Diseñar la etapa de comunicación inalámbrica que permita transmitir los datos capturados a una Laptop a partir de tecnología *Zigbee*.
- Diseñar una interfaz para el análisis y la visualización de datos en tiempo real e histórico.
- Implementar un piloto del sistema para un aula del Edificio de IEET

1.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO DE GRADO

Previamente se han desarrollado trabajos de grado en la Universidad Industrial de Santander que tratan una temática similar, y que fueron punto de partida para la ejecución de este proyecto. A continuación se muestran algunos trabajos de monitorización de variables y comunicación inalámbrica:

Tabla 1. Antecedentes.

Monitoreo de gases contaminantes del aire a través de redes inalámbricas IEEE 802.5.4 [4].	Proyecto realizado en la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática que tuvo como objetivo principal la elaboración de una herramienta software para el monitoreo de algunos gases contaminantes del aire, mediante una red inalámbrica de sensores.
Diseño de un sistema de telemetría inalámbrico para automatizar la lectura de consumos en los medidores de agua [5].	Proyecto realizado en la Escuela de Ingenierías Eléctrica , Electrónica y Telecomunicaciones, donde se diseñó e implementó un sistema de telemetría (AMR) que pudo transmitir mediciones, desde los contadores de agua, (a través de un sistema de transmisión inalámbrico), hasta una estación central, en donde dichos datos pudiesen ser procesados y almacenados para luego ser visualizados utilizando internet.
Aplicación web para la captura, monitoreo y análisis de datos transmitidos a través de redes de sensores inalámbricos utilizando tecnología Zigbee [6].	Trabajo realizado en la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, que desarrolla la construcción de una herramienta Web que permite la captura, monitoreo y análisis de los datos recopilados provenientes de una red de sensores inalámbricos, la cual brinda la posibilidad de estudiar el comportamiento de las variables de temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa y radiación solar en el interior de una granja avícola.

<p>Diseño e implementación de un sistema inalámbrico para la medición de temperatura diferencial corporal y saturación de oxígeno en la sangre [7].</p>	<p>En este proyecto realizado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, se propuso diseñar e implementar un sistema de medición de temperatura diferencial corporal, de saturación de oxígeno en la sangre, con transmisión inalámbrica de datos.</p>
<p>Desarrollo de una herramienta software para la visualización y almacenamiento de datos de la plataforma hardware IEEE 802.15.4 Xbee [8].</p>	<p>En este proyecto realizado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, se propuso entregar como producto final, una herramienta software, que permitiese presentar de forma clara y precisa la información transmitida por los módulos Xbee, y además posibilitara el almacenamiento de los datos recolectados por estos dispositivos.</p>
<p>Diseño, implementación y caracterización de una red de sensores Zigbee para la monitorización de contadores de energía digitales en una red de distribución de baja tensión [9].</p>	<p>Proyecto realizado en la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, el cual analizo una red de sensores Zigbee, basándose en la necesidad creciente de monitorizar variables de procesos industriales y remotos a través de redes. Por esto, en los últimos años se han buscado sistemas que permitan una óptima implementación práctica.</p>
<p>Medición de ángulos con tecnología Zigbee orientado a un servicio de rehabilitación biomecánica con el codo [10].</p>	<p>Este proyecto realizado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, propuso integrar mediante una tecnología nueva y creciente de transmisión inalámbrica, llamada ZigBee, toda una clase de servicios médicos que fueran fácilmente controlados por computadora. A su vez, la red inalámbrica ZigBee hará parte de un proyecto basado en el desarrollo de servicios con redes convergentes, el cual, actualmente es llevado a cabo por el grupo de investigación RadioGIS y tiene como uno de los objetivos a futuro brindar un servicio de telemedicina.</p>

1.3 ALCANCES

Los alcances de este proyecto se derivan de los objetivos específicos anteriormente establecidos. A continuación se plantea el desarrollo de cada uno de los objetivos, y se describe en detalle el procedimiento que se llevó cabo para su alcance:

Tabla 2. Objetivos y alcances.

Objetivo	Alcance
<p>Caracterizar la operación de un aula del Edificio de IEET según presencia, nivel de iluminación, tensión eficaz, corriente eficaz y factor de potencia.</p>	<p>Para el desarrollo de este objetivo se iniciará por definir los elementos de medición y el procedimiento para la obtención de dicha información. En el caso del nivel de iluminación, se optó por la selección de un sensor de tipo digital, el cual entregará las mediciones en paquetes de dos <i>Bytes</i>; esto con el fin de llevar los datos directamente a la tarjeta <i>Raspberry Pi</i> y evitar una etapa de adecuación.</p> <p>En el siguiente capítulo se mostrará con más detalle el ajuste proporcional de los valores entregados por el sensor para obtener los datos eléctricos. En el área de trabajo se utilizará un medidor monofásico suministrado por el grupo de investigación GISEL; este medidor, a su vez enviará información a la tarjeta M3 y esta, vía <i>ZigBee</i> a la <i>Raspberry Pi</i>. En cuanto a la presencia (ocupación) en los salones, se utilizará el sensor OSCxx-MOW instalado previamente en los mismos para diferentes usos; de allí se obtendrá la información (on/off) de presencia, se procesará, y se enviará posteriormente. Para caracterizar estas variables se mostrará más adelante el comportamiento de las mismas, a diferentes horas y condiciones.</p>

<p>Diseñar la etapa de adquisición de datos tales como: presencia, nivel de iluminación, tensión eficaz y corriente eficaz.</p>	<p>Para la adquisición de los datos es primordial determinar de qué tipo es la información que arrojan los sensores y el medidor monofásico; esta llegará de forma cableada e inalámbrica a la tarjeta <i>Raspberry Pi</i>. Para el sensor de intensidad lumínica <i>BH1750FVI</i> se desarrollará un programa en lenguaje C (Anexo A) para lograr la comunicación I²C, convertir esta información en datos de Luxes y ajustar estas medidas a las del instrumento patrón. Por el contrario, el sensor de presencia envía información analógica mediante una línea y esta será procesada en un programa realizado en lenguaje C (Anexo C)</p> <p>En cuanto a las mediciones eléctricas que enviará el medidor monofásico YTL, estas serán des-criptadas por la tarjeta M3 (desarrollada bajo el proyecto SITELRED) la cual los envía inalámbricamente y son recibidos por la <i>Raspberry Pi</i> mediante comunicación serial para la posterior visualización en la interfaz gráfica; para esto se debe recurrir a un código fuente realizado en lenguaje C (Anexo B).</p>
<p>Diseñar la etapa de comunicación inalámbrica que permita transmitir los datos capturados a una <i>Laptop</i> a partir de tecnología <i>Zigbee</i>.</p>	<p>La comunicación inalámbrica se hará por <i>WiFi</i> y <i>ZigBee</i>; la tarjeta <i>Raspberry Pi</i>, se conectará a la red para subir los datos a la base de datos <i>MySQL</i> que, en cualquier terminal conectado a la misma red, se podrá visualizar mediante <i>PHPMyAdmin</i>. Además, la comunicación por el protocolo <i>ZigBee</i> se establecerá entre la <i>Raspberry Pi</i> y la tarjeta M3 la cual es la que se encarga de des-criptar y organizar los datos del medidor monofásico. Para lograr esto se configurarán los dos protocolos de comunicación en la tarjeta y en el programa principal.</p>
<p>Diseñar una interfaz para el análisis y la visualización de datos en tiempo real e histórico.</p>	<p>Esta interfaz gráfica se basa en el desarrollo de dos etapas principales: la construcción de una base de datos utilizando <i>MySQL</i>, y el desarrollo de un aplicativo diseñado en lenguaje de programación <i>Java</i>. A esta base de datos</p>

	subirán las variables medidas por el sistema con una frecuencia establecida.
Implementar un piloto del sistema para un aula del Edificio de IEET.	Una vez establecido el modelo en un salón del edificio, se debe ampliar a tres salones más, con el objetivo de analizar el consumo kW/h dependiendo del área del salón. Esto se logra implementando el sistema de monitorización de consumo a cada aula y posteriormente comparando su comportamiento en la interfaz gráfica.
Determinar un índice de consumo metro cuadrado por hora de ocupación, basado en los resultados obtenidos para el aula piloto y realizar un procedimiento de prueba en al menos 3 aulas del mismo piso de diferente área.	Establecida la implementación piloto y tomadas las medidas necesarias; se ejecutará un sistema en diferentes salones, solamente midiendo las variables eléctricas (tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia), con el fin de comparar los datos obtenidos en las diferentes áreas.

1.4 MONITORIZACIÓN

La definición que brinda Otto Valle y Otto Rivera en su documento “Monitoreo e indicadores” es la siguiente:

“La teoría de la planificación del desarrollo define el seguimiento o monitoreo como un ejercicio destinado a identificar de manera sistemática la calidad del desempeño de un sistema, subsistema o proceso a efecto de introducir los ajustes o cambios pertinentes oportunos para el logro de sus resultados y efectos en el entorno. Así, el monitoreo permite analizar el avance y proponer acciones a tomar para lograr los objetivos e identificar los éxitos o fracasos reales o potenciales lo antes posible, esto permite hacer ajustes oportunos a la ejecución” [11].

Enfocando la teoría de la monitorización al objetivo principal de este proyecto, se procesaran los datos obtenidos (presencia, intensidad lumínica, corriente y tensión), teniendo acceso a estos en un punto específico del edificio de IEET, y gracias al desarrollo de una interfaz adecuada. La finalidad de este proyecto es monitorear variables y crear una base de datos con las mismas, a la cual se accederá inalámbricamente (por medio de una interfaz gráfica en un terminal remoto) por medio de *Wi-Fi*.

El proceso de monitorización está basado en la medición constante de una variable, es decir, tener información precisa en un intervalo de tiempo específico que permita realizar una evaluación del sistema.

1.4.1 Descripción de la Monitorización. La monitorización resulta una herramienta potente para conocer el comportamiento de un sistema y de esta manera poder tomar acciones a futuro sobre el mismo. Este proceso inicia con la implementación de una serie de sensores que captan la información (presencia, intensidad lumínica, corriente y tensión) los cuales han sido previamente caracterizados para apegarse a los requerimientos. El transporte de los datos, como se evidencia en la *Figura 1*, muestra a gran escala el procesamiento, envío y visualización de los mismos recolectados en el Edificio de IEET.

Figura 1. Proceso de monitorización.



1.4.2 Elementos para la monitorización. Fundamentados en la *Figura 1*, se definieron los elementos predominantes para la monitorización, basados en parámetros de funcionalidad, costo y ventajas sobre otros elementos disponibles en el mercado, se seleccionó la tarjeta de desarrollo, el sensor de iluminancia y el módulo *Xbee*. Los demás elementos fueron proporcionados por el grupo de investigación GISEL o ya estaban en funcionamiento en los salones del edificio de IEET (medidor monofásico YTL y sensores de presencia).

1.5 ESTRUCTURA DEL REPORTE DE INVESTIGACIÓN.

A continuación se muestra de manera clara la estructura del reporte de investigación describiendo el desarrollo de cada fase del trabajo. Durante el capítulo dos se realizará una revisión bibliográfica de los elementos necesarios para la implementación del dispositivo de monitoreo (tarjeta de desarrollo, sensores, lenguaje de programación y sistema de gestión de bases de datos), se dará a conocer la comparación de dichos elementos y el porqué de su selección.

A partir del capítulo tres se mostrará el desarrollo del sistema de monitorización y la fase de recepción/envío de datos, esto se traduce en describir cada subproceso necesario para estas acciones; desde el ajuste de los sensores, desarrollo del código fuente para la visualización de los datos obtenidos y configuración de dispositivos (tarjeta de desarrollo *Raspberry Pi* y módulo *Xbee*). Además, se realizará una descripción general del código para la obtención de los datos provenientes del medidor monofásico de la ESSA.

El capítulo cuatro se centrará en el desarrollo de la interfaz gráfica desarrollada en lenguaje de programación Java y basada en el sistema de gestión de base de datos

MySQL. El siguiente capítulo se concentrará en exponer la implementación y las pruebas de la unificación de las fases. Finalmente el capítulo 6 se centrará en las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de grado.

2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las bases teóricas que fundamentan la investigación e implementación del trabajo de grado; como la comparación entre las tecnologías *Wireless* (inalámbricas), algunos sensores de iluminancia del mercado, sensores de presencia, tarjetas de sistemas de desarrollo y los módulos *Xbee*.

2.1 COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS “WIRELESS”

El mercado actual ofrece diferentes protocolos de comunicación inalámbrica que se ajustan a las necesidades de este trabajo. Las opciones de mayor relevancia son *Zigbee*, *Bluetooth* y *WiFi*. En la *Tabla 3* se puede observar la comparación de las tres tecnologías.

Tabla 3. Comparativa de tecnologías ‘Wireless’ [12].

Prestaciones	Zigbee 802.15.4	Bluetooth 802.15.1	WiFi 802.11
Costo del chip (USD)	1	3	4
Consumo de corriente (mA)	30	65-170	350
Capacidad de red (nodos)	65000	30	7
Vida útil de la batería	> 365	7	1
Velocidad de transmisión RF (Kbps)	250	1000-3000	54000
Potencia de transmisión (mW)	1-2	1-100	40-200
Frecuencia de radio (GHz)	0,868; 0,915;2.4	2.4	30-100

2.2 ZIGBEE

Es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la *ZigBee Alliance*. *ZigBee* está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (*wireless personal area* Newark, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías [13].

Zigbee cumple con todas los requerimientos, en términos de eficiencia y funcionalidad, además es un sistema ideal para redes domóticas; está específicamente diseñado para reemplazar un gran número de conexiones entre sensores o actuadores que trabajan de forma individual. Su confiabilidad para transmitir paquetes de información y su bajo consumo de energía, hacen de esta una herramienta idónea para el proyecto; por lo tanto se acepta como protocolo de comunicación entre dos módulos. [14].

2.2.1 Características *Zigbee*. Es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s. Los rangos de alcance son de 10 m a 20 m (distancias apropiadas para el uso en el edificio de IEET). Puede usar las bandas libres ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU). [15]

La tecnología *Zigbee* cuenta con características que la convierten en una herramienta eficaz para las comunicaciones inalámbricas en aplicaciones de bajo costo. La *Tabla 4* describe sus principales características técnicas.

Tabla 4. Características de la tecnología ZigBee [16].

Característica	Rango
Rango de transmisión de datos	MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s.
Alcance	10 – 20 m.
Latencia	Menor de los 20 m.
Canales	868/915 MHz: 11 canales. 2.4 GHz: 16 canales.
Bandas de frecuencia	PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Direccionamiento	Corto de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de acceso	CSMA-CA y rasurado CSMA-CA
Temperatura	-40° C a +85° C

2.2.2 Tipos de tráfico de datos. La tecnología *ZigBee* es capaz de enviar la información en tres diferentes tipos de tráfico de datos, dependiendo de la necesidad del usuario, los puede dirigir en forma de dato periódico, dato intermitente y dato repetitivo. En la *Tabla 5* se definen cada uno de los tres tipos de tráfico convencionales.

Tabla 5. Transmisión de datos Zigbee [17].

Dato Periódico	Dato Intermitente	Dato Repetitivo
La aplicación dicta la proporción, el sensor se activa, chequea los datos y luego desactiva.	El dispositivo necesita sólo conectarse a la red cuando la comunicación se hace necesaria. Este tipo habilita el ahorro óptimo en la energía.	La proporción es a priori fija. Dependiendo de las hendiduras de tiempo repartidas, los dispositivos operan para las duraciones fijas.

2.3 SENSORES

Actualmente existe una amplia disponibilidad de sensores en el mercado, se determinará cuál es el más conveniente para la implementación en el sistema; es decir, el que cumpla con requerimientos de rango de medición, entrega digital de datos, sensibilidad, resolución, rapidez de respuesta, costo, entre otros. Atendiendo al tipo de señal de entrada, los sensores pueden ser clasificados dependiendo del tipo de señal a la cual responden: Mecánica, Térmica, Eléctrica, Magnética, Radiación, Química etc.

De acuerdo con la naturaleza de los sensores varía la forma en que estos entregan la información, ya sea digital o análoga. Se estudiaron las características de cada uno, y con base en esto, se seleccionó el más conveniente de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

- Sensores análogos: La gran mayoría de sensores entregan su señal de manera continua en el tiempo. Son ejemplo de ellos los sensores generadores de señal y los sensores de parámetros variables. La gran desventaja de este tipo de sensores es la etapa posterior de acondicionamiento de señal, la cual lo que se puede prescindir utilizando sensores digitales [17].
- Sensores digitales: Son dispositivos cuya salida es de carácter discreto. Son ejemplos de este tipo de sensores: codificadores de posición, codificadores incrementales, codificadores absolutos, los sensores auto-resonantes, galgas acústicas, cilindros vibrantes, de ondas superficiales (SAW), medidores de caudal de vórtices digitales, entre otros [17].

- Sensores pasivos: Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir por intermedio de una fuente auxiliar. Ejemplo: sensores de parámetros variables (de resistencia variable, de capacidad variable, de inductancia variable) [17].
- Sensores activos o generadores de señal: Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir en forma autónoma, sin requerir de fuente alguna de alimentación. Ejemplo: sensores piezoeléctricos, fotovoltaicos, termoelectricos, magnetoeléctricos [17].

2.4 SENSOR DE ILUMINACIÓN

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz, este tipo de sensores requieren de un componente emisor, que genera la luz, y un componente receptor, que capta la luz emitida. Estos sensores están diseñados especialmente para la detección, clasificación, posicionamiento de objetos, la detección de formas, detección de colores y diferencias de superficie. La interrupción o reflexión del haz por parte del objeto a detectar, provoca el cambio de estado de la salida de la fotocélula.

Este tipo de sensores se utilizan también para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica. A continuación se muestran algunos ejemplos de sensores fotoeléctricos los cuales se agrupan según el tipo de detección, estos son:

- Sensor Barrera: Cuando existe un receptor y un emisor, apuntados uno al otro. Tiene un método el más alto rango de detección (hasta 60 metros) [18].
- Sensor *Réflex*: Cuando la luz es reflejada por un reflector especial cuya particularidad es que devuelve la luz en el mismo ángulo [18].
- Sensor *Autoreflex*: Son particularmente iguales a los del tipo anterior excepto que el emisor tiene un lente que polariza la luz en un sentido y el receptor otro que recibe mediante un lente con polarización a 90° del primero con esto el control no responde al objeto. Distancia de detención de 5 metros [18].

2.5 SELECCIÓN DEL SENSOR DE ILUMINANCIA

En relación a la amplia disponibilidad de sensores existentes en el mercado, es importante determinar cuál es el dispositivo idóneo para el desarrollo de los objetivos. Señalaremos entonces una serie de sensores de luz y sus características técnicas, tales como rango de medición, entrega de información y consumo de energía; esto para determinar con más detalle el porqué de su elección.

2.5.1 Sensor de luz BH1750FVI. El sensor BH1750FVI, es un sensor digital que se comunica a través del bus de datos I^2C y permite obtener una lectura de 1 a 65.535 Lux con una precisión de 1 Lux; aunque, según como se configure el sensor puede cambiar la precisión a 0.5, 1 o 4 Lux, para aumentar así el rango de lectura según el *datasheet* [19] del dispositivo. Con una precisión configurada a 4 Lux, la medida leída puede ser de hasta 100.000 Lux

Las características de este sensor se encuentran detalladas en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Características del sensor de luz BH1750FVI [19].

Característica	Descripción
Salida	Digital
Rango de medición	1-6555 Lux
Consumo de energía	Bajo
Rechazo de ruido	50/60 Hz
Direcciones de esclavo I2C	Dos
Influencia del espectro infrarrojo	Baja
Voltaje	3.3v-5v

2.5.2 Sensor de luz Opt3001. El OPT3001 es un sensor que mide la intensidad de la luz en el rango visible, además, está diseñado para sistemas que crean experiencias basadas en la luz que percibe el ojo humano; por lo tanto es un reemplazo ideal para los fotodiodos, fotoresistores u otros sensores de luz ambiente con menos emparejamiento en relación al ojo humano y el rechazo a la luz Infrarroja. En la *Tabla 7* se muestran sus principales características:

Tabla 7. Características del Sensor de luz Opt3001 [20].

Características	Descripción
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 °C a + 85 °C
Rango amplio de fuente de alimentación	1.6 a 3.6 V
Filtrado óptico de precisión para que coincida con el ojo humano	Rechazo > 99% (típ.) de IR
Ajuste automático	Simplifica el software y garantiza una configuración adecuada
Rango dinámico efectivo	23 bits con rango de ganancia automática
Rango de medición	0.01 Lux a 83k Lux
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 °C a + 85 °C
Rango amplio de fuente de alimentación	- 1.6 a 3.6 V

2.5.3 Sensor Niessen KNX .Es un sensor utilizado para la detección y evaluación de la intensidad de luz, que permite su montaje a la intemperie y está equipado con un elemento de compensación de presión (Membrana Climática). La intensidad es detectada por un fotodiodo y se convierte electrónicamente a una señal de salida lineal y analógica de 0 a 10 Volts [21].

2.5.4 Sensor LX1972IBC-TR. Es un sensor de luz ambiente con salida lineal para uso en interiores o exteriores. El sensor es de montaje superficial con encapsulado 1206 y se alimenta con 0.3VDC a 6VDC, y tiene una curva de respuesta que emula la del ojo humano [22]. Las aplicaciones más comunes de este sensor son las siguientes:

- Pantallas electrónicas portables.
- Cámaras fotográficas digitales.
- Monitores de escritorio.
- Computadores portátiles.

2.5.5 Sensor DFR0026. Es un sensor de luz ambiente, el cual trabaja con un Foto resistor *CdS* que le permite tener una salida de voltaje de CC en función del brillo de las luces (Oscuro tiene un valor bajo). El sensor puede ser utilizado para detectar la intensidad de la luz ambiental, su salida es de forma análoga y las principales características técnicas son las siguientes [23]:

- Detecta la densidad de luz ambiental.

- Funciona con CdS-Fotoresistor.
- Salida analógica de tensión: de 0 a 5 VDC.
- Tensión de alimentación recomendada: 3 a 5 Vcc.
- Interfaz con microcontroladores y circuitos lógicos.

Después de analizar las características de los sensores en términos de funcionalidad, costo y entrega de datos (análogo o digital); el sensor que más se ajusta a los requerimientos para el desarrollo del proyecto es el BH1750FV.

2.6 SENSOR DE OCUPACIÓN

Los sensores de ocupación son dispositivos principalmente destinados al control de la iluminación de un recinto. El funcionamiento se basa en dos modos de detección: detección Infrarroja y detección por ultrasonido. Dependiendo de la referencia del sensor, es posible que cuente únicamente con tecnología infrarroja, de ultrasonido o las dos a la vez, para una mayor precisión en la detección de la ocupación.

Existen diferencias importantes entre los sensores de ocupación y los de movimiento, donde se destaca la sensibilidad de cada dispositivo, siendo el primero más sensible que el segundo. El modo de detección infrarroja se basa principalmente en el principio de irradiación de calor de cualquier elemento, (para este estudio específico, el calor irradiado por las personas). Fundamentados en esto, se recurre a una imagen de radiación térmica, la cual revela la distribución de la temperatura de la superficie de un cuerpo en la parte infrarroja de la luz [24].

Los sensores ultrasónicos utilizan el efecto *Doppler* para detectar la presencia de un cuerpo en movimiento, mediante la transmisión de una señal de baja potencia y alta frecuencia; la cual es recibida posteriormente una vez esta es reflejada. El sensor envía ondas de sonido ultrasónicas continuas en el recinto y el receptor refleja o mide la frecuencia de ese retorno de sonido al detectar el movimiento.

Basado en las anteriores definiciones, se estudió la posibilidad de utilizar sensores infrarrojos o de ultrasonido, pero para un mejor desempeño, se usó un sensor ofrecido por el grupo de investigación GISEL el cual combina las dos tecnologías. Dentro de las posibilidades actuales se encuentran los siguientes sensores que combinan tecnología infrarroja y de ultrasonido; en la *Tabla 8* se muestran algunas opciones presentes en el mercado.

Tabla 8. Sensores de ocupación con tecnología doble.

Referencia	Tecnología
Sensor de presencia ThebenHTS [25].	Infrarroja, Ultrasonido
Sensor de presencia BTicino [26].	Infrarroja, Ultrasonido
Sensor de presencia Honeywell [27].	Infrarroja, Ultrasonido

Existe la posibilidad de utilizar sensores de presencia de única tecnología (infrarroja o ultrasonido), que poseen ventajas a la hora de la implementación, debido al procesamiento que realizan en la información, pues algunos de éstos entregan la información de forma digital; evitando así, fallas en el momento de la recepción de

datos por parte de la tarjeta de desarrollo. Se dispone en el mercado las siguientes referencias de sensores con tecnología infrarroja y entrega de información digital:

- RE200B[28]
- PIR Motion Sensor (JST)(SEN-13285)[29]

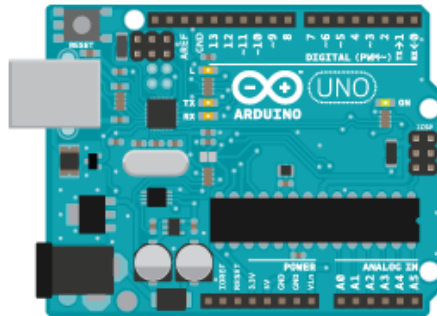
Estudiada la posibilidad del uso del sensor disponible en los salones del edificio IEET, o de los dispositivos mencionados anteriormente; se decidió acceder al sensor Leviton OSCxx-MOW; el cual se encarga del encendido y apagado de las luminarias del aula. El sensor trabaja con las dos tecnologías descritas anteriormente y sugiere una conexión como la que se evidencia más adelante en la *Figura 6*. [30].

2.7 TARJETAS DE DESARROLLO

Dichas tarjetas son una plataforma de evaluación y desarrollo de bajo costo; las cuales, poseen un procesador o un microcontrolador, resultando útiles para la ejecución de diversos proyectos. Tres tipos de tarjetas de frecuente uso en el mercado son: *Arduino*, *Raspberry Pi* y *BeagleBoard*. La tarjeta de desarrollo es el componente principal del funcionamiento del sistema de monitorización inalámbrica, pues allí llega la información cableada e inalámbrica de los sensores y del medidor monofásico. A continuación se presenta una reseña de cada una de las marcas de tarjetas de desarrollo anteriormente mencionadas.

2.7.1 Arduino. Arduino es una tarjeta de desarrollo de código abierto (*open source*), basada en *hardware* y *software* de fácil uso. Consta de un microcontrolador programable para una amplia variedad de aplicaciones y ofrece la simplicidad del lenguaje Arduino (*Arduino Programming Language, APL*), el cual se basa en el lenguaje *Wiring*. Arduino cuenta con un software propio para programar y compilar, almacenando la información en la memoria del microcontrolador. [31]. En la *Figura 2* se aprecia una tarjeta de desarrollo Arduino [32].

Figura 2. Tarjeta de desarrollo Arduino [31].



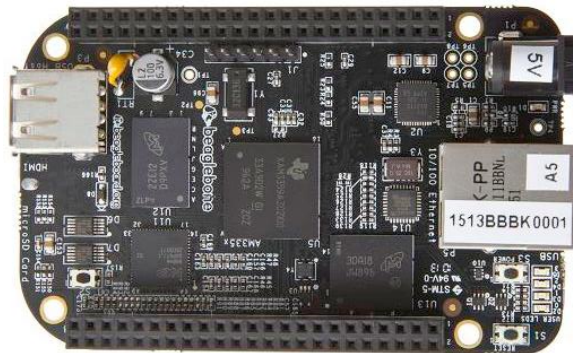
2.7.2 Raspberry Pi. La tarjeta Raspberry Pi, es un pequeño ordenador que ha ganado popularidad en los últimos años debido a su precio y a las grandes posibilidades que brinda al usuario; las cuales van desde disponer de un ordenador con Linux/GNU capaz de cumplir con funciones básicas, hasta la posibilidad de programar en diferentes lenguajes incluyendo los de bajo nivel, como el C, y los de alto nivel como Python. Adicionalmente dispone de pines GPIO, puertos USB, salida de video, salida de audio y conexión Ethernet. El modelo Raspberry Pi 2 B+ de procesador de 700MHz y RAM de 512 MB, cuenta con 40 pines GPIO, 4 puertos USB, un socket para tarjeta MicroSD, puerto de audio de 3 canales y salida HDMI de video, entre otros. Todo esto en una superficie de 85mm x 56mm [33]. En la Figura 3 se aprecia una tarjeta Raspberry Pi.

Figura 3. Tarjeta de desarrollo Raspberry pi [34].



2.7.3 BeagleBone Black. Es una plataforma de desarrollo de bajo costo, con características similares a las de la *Raspberry Pi*, con la diferencia de que esta última tiende a ser una tarjeta de desarrollo *Linux* de propósito general, mientras que la *Beaglebone Black* de *BeagleBoard* se diseñó para conectarse a dispositivos electrónicos externos con muchos más pines *GPIO*, entradas analógicas y *Angstrom Linux* [35]. En la *Figura 4* se observa una tarjeta *Beaglebone Black*.

Figura 4. Tarjeta de desarrollo Beaglebone Black [36].



En la *Tabla 7* se muestra la comparación de las características de cada tarjeta de desarrollo.

Tabla 9. Comparación de las tarjetas de desarrollo [35].

	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone Black
Procesador	AT Mega 328	Arm 11	Am 335x
Velocidad	16 MHz	700 MHz	1 GHz
RAM	2 Kb	512MB	512 MB
USB	n/a	4	1

Audio	n/a	HDMI, Analógico	HDMI
Video	n/a	HDMI, Analógico	Mini-HDMI
Ethernet	n/a	10/100	10/100
I/O	14 GPIO, 6-10 bit analog	40 GPIO	69 GPIO, LCD, 4 temporizadores, 4 puertos seriales
Tamaño	2.95" x 2.1"	3.37" x 2.125"	3.4" x 2.1"
Sistema Operativo	n/a	Linux	Linux, Android ADK
Entorno	Arduino IDE	Linux, IDLE, Eclipse	Linux, Eclipse, Android ADK
Costo	29.95 USD	35 USD	45 USD

Analizando las características de cada una de las tarjetas de desarrollo, y basados en el tipo de información entregada por los sensores, se realizó la selección de la más adecuada, concluyendo que la tarjeta *Raspberry Pi* cumple a cabalidad las tareas requeridas (procesar la entrada del sensor de iluminancia, conectar con el módulo *Xbee*, recibir la información del sensor de presencia y acceder a internet).

2.8 MÓDULO XBEE

El módulo *Xbee* es el más importante de la comunicación inalámbrica, ya que es el encargado de recibir y transmitir los datos entre la tarjeta M3 y el módulo principal,

cumpliendo a su vez con las normas del estándar IEEE 802.15.4. Los módulos *Xbee* deben ser configurados entre sí, bajo dos parámetros primarios como lo son la dirección y el canal de comunicación. Dichos módulos poseen 6 convertidores análogo-digital y 8 entradas digitales, además de los puertos de comunicación serial (RX y TX).

Los módulos *Xbee* ofrecen una velocidad de comunicación desde 1200 hasta 115.200 baudios, Trabajan a 2.4 GHz generando una red propia; y permiten ser programados a través de una *hyperterminal*. Existen dos tipos de interfaces, serial y *USB*, que pueden ser utilizadas, para programar los módulos; con cualquiera de estos métodos se puede definir de una forma rápida los parámetros que se requiera modificar en los módulos [37].

La selección de un módulo adecuado, se llevó a cabo con base en las características de potencia, funcionalidad y precio. El módulo *XBee DigiMesh 2.4 RF* tiene las características necesarias para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. En el *Anexo E* se exponen las diferencias entre el módulo *Xbee* vs módulo *Xbee pro 2.4 de DigiMesh* [38].

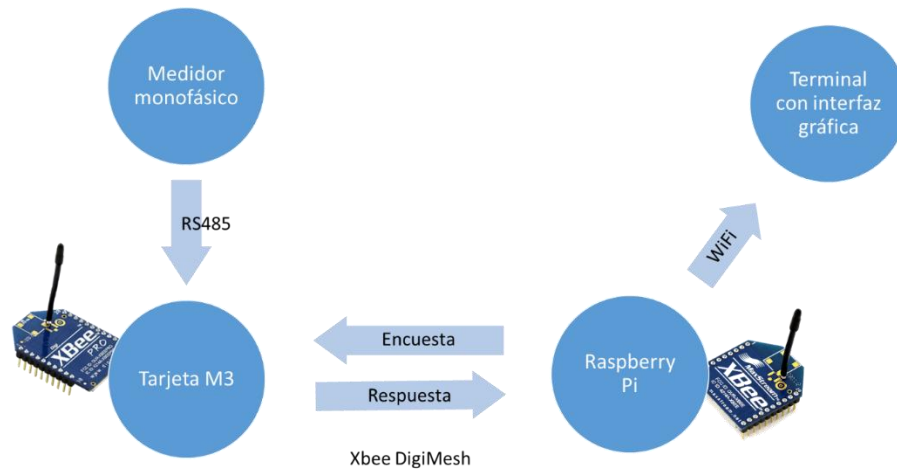
3 DISEÑO Y CONFIGURACIÓN PREVIA DE LOS MÓDULOS Y SENSORES

Durante este capítulo se expondrá el proceso que se llevó a cabo para configurar y ajustar los diferentes dispositivos que hacen parte del sistema de monitorización inalámbrica. Se detallará el proceso de obtención de la información de los sensores de iluminancia, presencia y medidor monofásico; y el procesamiento de dichas señales.

3.1 DISEÑO DE LA ETAPA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La comunicación inalámbrica se estableció entre la tarjeta *M3* (conectada al medidor monofásico) y la *Raspberry Pi* con una red DigiMesh a través de dos módulos Xbee, un módulo Xbee Pro 2.4 DMWIT unido a la *M3* y un módulo Xbee 2.4 DMWIT conectado a la *Raspberry Pi*. Adicionalmente, se estableció conexión inalámbrica entre el módulo central y el terminal de visualización de los datos (*Laptop*) a través de WiFi, en la *Figura 5* se observa un esquema de los protocolos de comunicación inalámbrica que hacen parte del sistema.

Figura 5. Comunicación inalámbrica del sistema.



3.1.1 Configuración del módulo Xbee dm 2.4 conectado a la tarjeta de desarrollo. El módulo Xbee DM 2.4, conectado a la *Raspberry Pi*, es el dispositivo principal para la comunicación inalámbrica con la tarjeta *Multi Metering Manager* (encargada de procesar los datos del medidor monofásico). Este envía una instrucción para encuestar a la tarjeta M3 (*Multi Metering Manager*), recibe la información recopilada por el medidor monofásico y la envía de vuelta por el canal de comunicación entre los módulos *Xbee*. La configuración de este módulo se desarrolló de la siguiente manera:

1. Conectar el módulo a los pines UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter de la tarjeta).
2. Ejecutar: ***minicom***

3. Habilitar el “echo”(ver lo que se envía y recibe en pantalla): teclear **ctrl+A** seguido de la letra E
4. Teclear seguido, uniforme y rápido “+++” sin ENTER hasta recibir OK
5. Escribir: “ATID 1E3E” (enter)
6. Escribir “ATCH C” (enter)
7. Escribir “ATAC (enter)”
8. Teclear **Ctrl+A** seguido de la tecla **Q** para salir.

De esta manera se configuró el módulo *Xbee* en la dirección 1E3E y el canal C, posteriormente se salvaron los cambios como predeterminados. Esto debe hacerse en un lapso corto, para evitar salir del modo de configuración y cada vez que se quiera configurar una nueva dirección y canal de comunicación de una red *ZigBee*.

3.1.2 Conexión de la tarjeta de desarrollo a una red WiFi. Gracias al sistema operativo (*Raspbian*) instalado en la tarjeta *Raspberry Pi*, se puede acceder a la interfaz gráfica amigable con el usuario y se opera de manera similar a una de algún sistema basado en *Debian (Linux)*, para así configurar la red *WiFi* de una manera sencilla como en cualquier sistema operativo. Este sistema operativo también cuenta con drivers para reconocer una tarjeta de red *WiFi* conectada a través de USB; en el caso de este proyecto se empleó un adaptador *WiFi* USB de la marca *TP-LINK* y se procedió a acceder a las diferentes redes de internet inalámbrico disponibles en el edificio de IEET.

Cualquier terminal conectado a la misma red de la tarjeta *Raspberry Pi* puede acceder a <http://ip.de.la.tarjeta/phpmyadmin> para administrar la base de datos MySQL o acceder a los datos de los sensores a través de la interfaz gráfica.

3.2 DISEÑO DE LA ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Para el desarrollo de esta etapa fue necesario realizar la selección de los dispositivos de medición para las variables de interés. Como primera medida se seleccionó el sensor de iluminación que se apegara a los requerimientos de los objetivos planteados en términos de resolución, entrega de información, costo y disponibilidad en el mercado. Actualmente es posible acceder a diferentes ofertas de sensores de esta naturaleza en el mercado, pero como se describió en el literal 2.5 el sensor BH1750 es idóneo para este trabajo, se comunica con la tarjeta *Raspberry Pi* por medio del bus I2C a través de un cable de categoría 5 para reducir errores en la comunicación y logrando una distancia de 10 metros.

La medición de las variables como corriente y tensión se planteó realizarla con la instalación de un sensor para cada una de ellas, ya que esta estrategia implicaba gastos adicionales además de la ocupación de puertos análogos de la tarjeta de desarrollo, el grupo de investigación GISEL proporcionó el medidor monofásico YTL el cual además de medir estas dos variables, mide la potencia activa y reactiva del sistema, factor de potencia y la frecuencia. De la misma manera, este plan piloto de monitorización el cual se espera sienta bases para proyectos futuros basados en el uso racional de la energía, plantea el aprovechamiento de las herramientas instaladas en el edificio, y no agregar dispositivos adicionales al sistema, por ende aprovechar la salida on/off del sensor de presencia destinada a la activación de aires acondicionados instalados en el recinto. Esta señal es procesada y dirigida al puerto analógico de la tarjeta de desarrollo. Más adelante se detalla la configuración para el funcionamiento de los sensores.

3.3 OBTENCIÓN DE DATOS DEL SENSOR DE LUZ BH1750FVI

Basados en las características del sensor de luz BH1750FVI y la posibilidad de entregar los datos de forma digital (16 Bits), a través del protocolo de comunicación I^2C , se desarrolló un programa en lenguaje C que activa el sensor en modo de alta definición continua (resolución de 1 Lux y tiempo de medida de 120 ms) para la visualización de las mediciones por medio de la tarjeta *Raspberry Pi*, la base de datos y la interfaz gráfica. Por medio del bus de datos I^2C , se conectaron dos sensores a la tarjeta, y se accedió a un programa de ejemplo en lenguaje de C[43], este se modificó para usar dos sensores simultáneamente y archivar las mediciones en un archivo de texto (posteriormente en el programa principal, se agregan las

mediciones a tablas en la base de datos MySQL); empleando las librerías “linux/i2c-dev.h” “linux/i2c.h” [44] y “smbus.h” [45].

3.3.1 Bus de datos I^2C . Es una interfaz derivada del módulo MSSP (Master Synchronous Serial Port) para acceder a la comunicación con otros dispositivos periféricos o programables soportando los siguientes modos de hardware: maestro, multi-maestro o modo esclavo, para transmitir una trama de datos. La comunicación se realiza a través de dos conductores: SCL (línea de reloj) para sincronización de datos y SDA (línea de datos) [46]. El sistema permite comunicar varios elementos (esclavos) con un módulo central (Maestro), en el que el control de la comunicación está dirigida por el módulo central. Los conductores SDA y SCL se definen de la siguiente manera:

- SDA. Es la línea de datos serie (*Serial Data*, en inglés), semi-bidireccional. Eléctricamente se trata de una señal a colector o drenador abierto. Es gobernada por el emisor, ya sea este, un maestro o un esclavo[47].
- SCL. Es la señal de sincronía (reloj serie, o *Serial Clock* en inglés). Eléctricamente se trata de una señal a colector o drenador abierto. En un esclavo se trata de una entrada, mientras que en un maestro es una salida. Un maestro, además de generar la señal de sincronía suele tener la capacidad de evaluar su estado [47].

3.3.2 Conexión y configuración Sensor BH1750FVI con la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi. Basados en el protocolo de comunicación I^2C , el sensor es conectado a la tarjeta utilizando los pines SDA y SCL realizando entre ellos una conexión en paralelo. Debido a la naturaleza de los sensores, fue posible conectar únicamente dos de ellos, (con esto es suficiente para determinar la iluminancia del recinto) ya que cuentan con dos únicas direcciones de funcionamiento (0x23 y 0x51). En la configuración inicial de la *Raspberry Pi* no está habilitada la comunicación I^2C por lo tanto se modificó dicha configuración para realizar la conexión entre los dispositivos.

3.3.3 Desarrollo código fuente para la lectura del sensor de luz. El desarrollo de este programa se basó en el uso de las librerías “linux/i2c-dev.h”, “linux/i2c.h”, “smbus.h” para el bus de datos I^2C [44][45]. El programa asigna el pin de la *Raspberry Pi* destinado a SDA como *Input*; abre el puerto I^2C para lectura y escritura; establece las opciones de esclavo y la dirección de los dos sensores de iluminancia; envía la señal de activación a los sensores y el modo de funcionamiento (resolución de 1 Lux y tiempo de medida de 120 ms); lee la información de cada sensor, la ajusta y la convierte a luxes; posteriormente almacena las medida en una variable lista para ser subida a la base de datos *MySQL*. En el *Anexo A* se encuentra el código para un sensor y en el *Anexo D* el código principal, configurado para dos sensores de iluminancia.

3.4 AJUSTE PROPORCIONAL DE LOS SENSORES DE ILUMINANCIA

“La calibración se define como: la comparación de un estándar de medición, o de un equipo, con un estándar o equipo de mayor exactitud, para detectar y cuantificar imprecisiones y detectarlas o eliminarlas mediante un ajuste. En este sentido, la calibración es la actividad de control de calidad preponderante dentro de la medición, ya que establece la relación del valor medido por un equipo con un valor real tomado de un instrumento patrón, dando validez y trazabilidad a la medición”[39]

Las siguientes medidas de iluminación establecidas en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público de Colombia (RETILAP), en el cual se muestra los requisitos generales del diseño de alumbrado interior Colegios y centros educativos, establecen los niveles (mínimo, medio y máximo) de iluminación contra los que se comparará los datos que toman los sensores de iluminancia implementados en el proyecto. A continuación en la *Tabla 10* se muestran los niveles de iluminancia recomendados para áreas de estudio.

Tabla 10. Niveles de iluminancia recomendados [40].

Tipos de recinto y actividad (Salones de clase)	Niveles de iluminancia (Lux)		
	Mínimo	Medio	Máximo
Iluminación general	300	500	750
Tableros	300	500	750

Elaboración de planos	500	750	1000
Salas de conferencias	Mínimo	Medio	Máximo
Iluminación general	300	500	750
Tableros	500	750	1000
Bancos de demostración	500	750	1000
Laboratorios	300	500	750
Salas de arte	300	500	750
Talleres	300	500	750

Como primera medida, se recopiló información de las mediciones realizadas con el sensor de iluminancia BH1750FVI, y basados en el instrumento patrón, un luxómetro, el cual mide específicamente la intensidad con que la luminosidad aparece al ojo humano. Esto es diferente de las medidas de la luz de energía real producida o reflectada de un objeto o una fuente de luz.

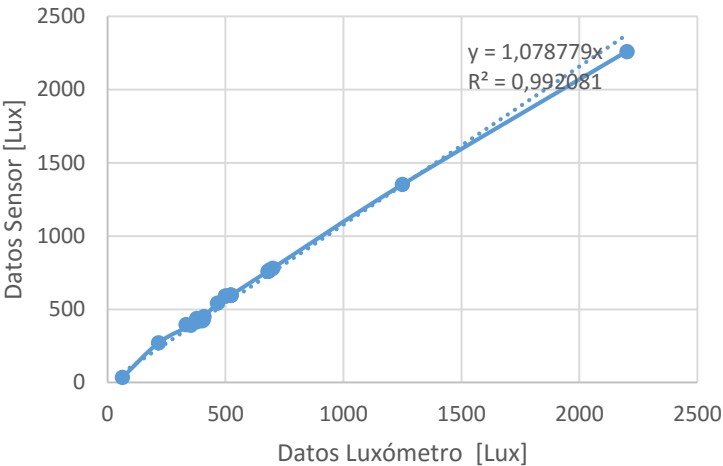
“El Lux es la unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$)”[40]. El luxómetro moderno funciona según el principio de una fotocelda, la cual al recibir una cierta cantidad de luz (fotones) la transforma en una corriente eléctrica. Por ejemplo, una fotorresistencia puede ser usada en la construcción del luxómetro[41].

Para el proceso de ajuste proporcional de los valores entregados por el sensor, es indispensable conocer los valores de la prueba práctica realizada con este; para ello se accedió a la medición en la pantalla de una *laptop*, conectando el sensor a la

tarjeta de desarrollo y ejecutando la sección del programa principal dedicada a los sensores de iluminancia, y se comparó con el valor entregado por el luxómetro **LM-120** de la empresa *Amprobe* ($\pm 3\%$ de exactitud para lámparas incandescentes)[42]. Una vez ejecutado el programa, se trabajó de manera estricta, cuidando la posición del foto-detector del luxómetro y del sensor BH1750FVI para que las medidas simultáneas tuviesen el menor margen de error posible.

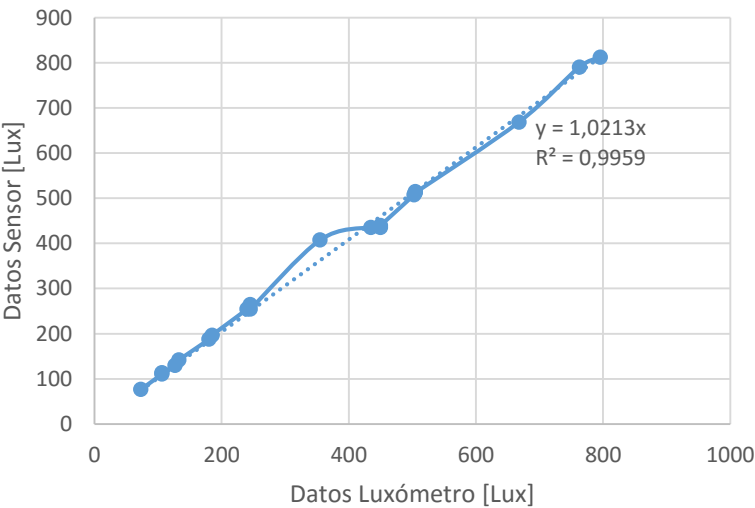
En el *Anexo F* se muestran las tablas de las mediciones realizadas con los sensores de iluminancia y las medidas del luxómetro (patrón), variando la distancia entre el sensor y la fuente de iluminación, además del tipo de fuente (Natural o artificial). Con estas pruebas se buscó corroborar que el factor de ajuste **1.2**, recomendado en la hoja de datos del dispositivo BH1750FVI [19], fuera el adecuado y disminuyera la diferencia entre el valor del instrumento patrón y el valor medido por los sensores; con esto se aseguró que la medición del sensor fuera la más exacta posible. A continuación se muestra en la *Figura 6* la relación entre el sensor de iluminancia y el luxómetro, expuestos a luz artificial.

Figura 6. Relación entre sensor y luxómetro expuestos a luz artificial.



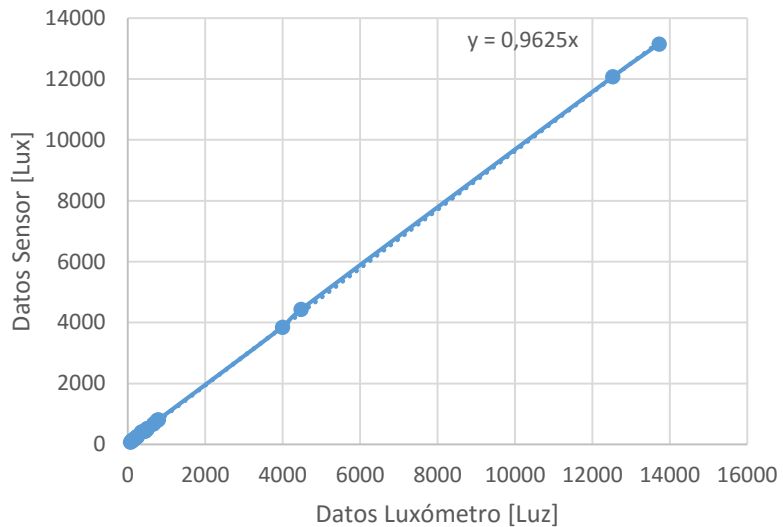
De la misma manera se muestra en la *Figura 7* la relación entre el sensor y el luxómetro expuestos a luz natural.

Figura 7. Relación entre el sensor y el luxómetro expuestos a luz natural.



En la Figura 8 se observa la relación entre el sensor de iluminancia y el luxómetro expuestos a un rango mayor de luz mayor.

Figura 8. Relación sensor y luxómetro expuestos a luz natural (rango alto).



Analizando la *Figura 7*, se encontró que el cociente de ajuste **1.2**, que se encuentra en la hoja de datos del dispositivo, es el adecuado para el rango de luxes medidos en el área de trabajo; ya que la pendiente de la línea de tendencia es cercana a 1 (1,0213), esto quiere decir que la relación entre los datos del sensor de iluminación (ajustado) y los datos del luxómetro tienen una relación lineal.

3.5 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SENSOR DE PRESENCIA OSCxx-MOW.

Basados en los recursos disponibles en el edificio de IEET y estudiada la posibilidad de utilizar sensores de presencia disponibles en el mercado, se decidió que lo más conveniente para el desarrollo de los objetivos de este proyecto, era utilizar los sensores instalados en las aulas de la escuela. El sensor de ocupación OSCxx-MOW tiene como finalidad encender las luces del recinto mientras haya presencia en el mismo, o mantenerlas apagadas en caso de no encontrarse alguien allí, esto con el fin de ahorrar energía. El sensor cuenta con tecnologías infrarrojo y ultrasonido, lo cual lo convierte en una herramienta óptima para monitorizar la ocupación.

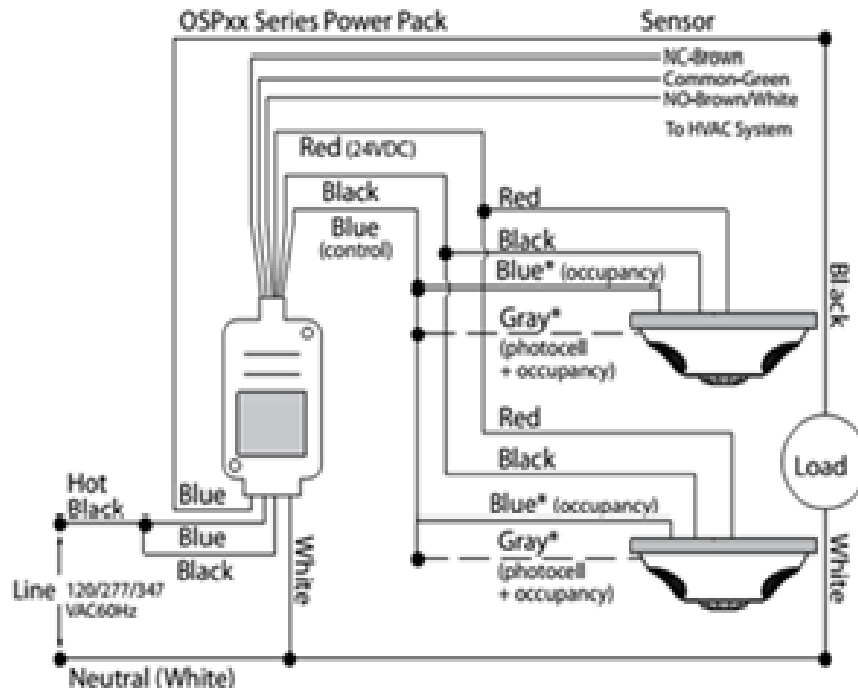
El sensor es alimentado con una tensión de 24 VDC desde un *Power Pack* OSPxx con promedio de consumo de corriente de 30mA. Dependiendo de la configuración asignada al sensor (referencia ver hoja de datos) cuenta con las siguientes posibles configuraciones:

- Modo de Multitecnología.
- Modo tecnología sencilla.
- Tiempo de demora de apagado.
- Modo de caminata.

La tecnología del sensor permite ajustar programa de rango ultrasónico, el programa de rango infrarrojo, el tiempo de demora de apagado y la anulación de luz de ambiente. Debido a la conexión utilizada para el encendido de la luminaria, donde además de movimiento detectaba el nivel de iluminancia para accionar el sistema, el sensor provee la posibilidad de generar una señal de tensión únicamente cuando detecta movimiento en el recinto, esta conexión se descarta en algunos de los salones del edificio de IEET, ya que es comúnmente utilizada para accionar aires acondicionados.

Se procede a tomar la señal de la línea de aire acondicionado (los salones escogidos no contaban con sistema de aire acondicionado), ajustarla y entregarla a la tarjeta de desarrollo, para observar su comportamiento en la interfaz gráfica. Esta señal es de corriente continua y presenta un valor de tensión de aproximadamente 30 V. La *Figura 9* detalla la conexión del sensor con el *power pack*, de esta configuración se toma la salida para activación del aire acondicionado y se procesa posteriormente [30].

Figura 9. Conexión Sensor de presencia OSCxx-MOW con el Power Pack OSPxx [30].



3.5.1 Acondicionamiento de la señal de presencia del sensor OSCxx-MOW a la tarjeta de procesamiento Raspberry Pi. El proceso de acondicionamiento de la señal proveniente del sensor de presencia, se basa en el uso de un optoacoplador, el cual toma la salida del dispositivo (señal de 30 VDC) y la transforma a un valor de tensión de 3 VDC, soportada por la entrada de la tarjeta *Raspberry Pi*. Un optoacoplador es un dispositivo basado en el empleo de un haz de radiación luminosa para transmitir señales de un circuito a otro sin una conexión eléctrica. Fundamentalmente este dispositivo está formado por una fuente emisora de luz, y un foto-sensor de silicio, que se adapta a la sensibilidad espectral del emisor luminoso [48].

En el mercado existen una variedad de dispositivos que se adaptan al proceso de acondicionamiento de señal proveniente del sensor, basados en los requerimientos de tensión y corriente de éste, se seleccionó el dispositivo adecuado para entregar la señal de forma segura para el módulo principal (tensión de 3,3 V).

El componente seleccionado para la adecuación de la señal fue el optoacoplador 4n35, con el cual se simuló el comportamiento en el tiempo de un circuito y se calcularon los valores de las resistencias necesarias para la entrega de 3,3 V de corriente directa a la salida. El esquema del circuito para el optoacoplador se muestra en la *Figura 10* y el resultado de la simulación en la *Figura 11*.

Figura 10. Simulación del Optoacoplador con el software Orcad [49].

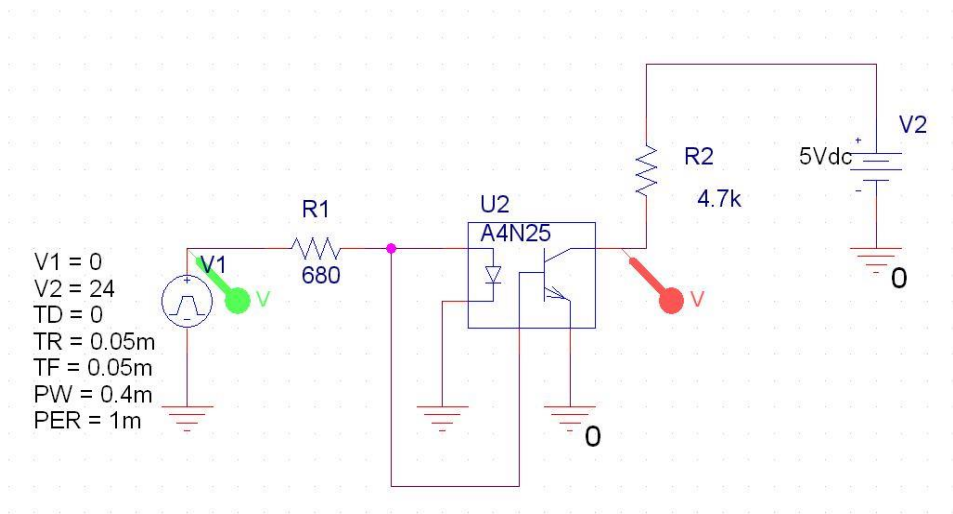
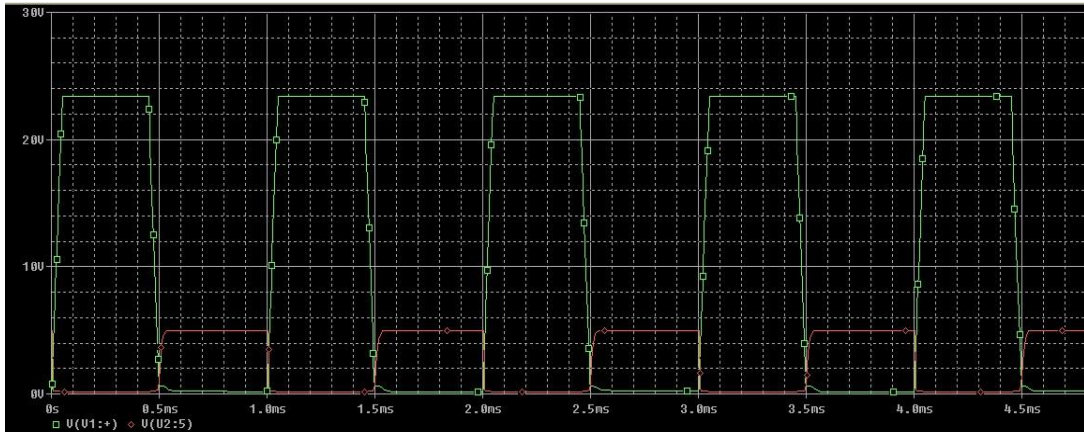


Figura 11. Simulación optoacoplador con el software Orcad[49].



El montaje del circuito se realizó previamente en el laboratorio, para asegurar que los resultados fuesen los deseados y simulados. El valor de la resistencia R1 depende del optoacoplador y de la tensión proveniente del sensor de presencia 24 Vdc. Basados en el valor de corriente que debe circular por el transistor de salida y los datos del optoacoplador se obtiene la corriente que debe pasar por el LED y la tensión que produce en el LED esa corriente. Esta corriente debe ser suficiente para saturar al transistor.

$$V_{in} = I * R + V_{Led}$$

$$R = \frac{24 - 1.5}{30 \text{ m}} = 0.75k \approx 680\Omega$$

Utilizando el valor comercial más cercano se calcula qué tensión aplicar para que circulen 5 mA.

$$V_{in} = I * R + V_{Led} = 4.9V$$

Seguidamente se estima la resistencia R2. Un valor adecuado de esa resistencia suele ser 4.7kΩ o 10kΩ.

3.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO

Apoyados en trabajos previos realizados en la escuela de IEET que destacaban las comunicaciones inalámbricas utilizando el protocolo *ZigBee*, se optó por hacer uso de un medidor monofásico digital marca YTL (*Yongtailong*) de manufactura China, que se fabricó bajo los requerimientos del convenio ESSA-UIS; capaz de medir simultáneamente valores de tensión RMS, corriente RMS, factor de potencia, frecuencia, potencia activa, potencia reactiva, energía activa y energía reactiva de la carga.

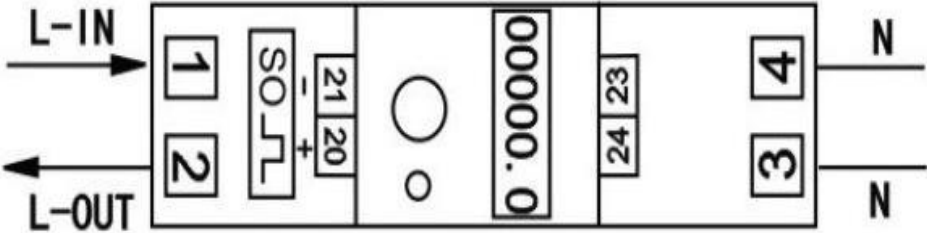
Este medidor monofásico bifilar, está configurado bajo las normas del IEC (Comisión Electrotécnica Internacional): 62052-11, 62053-21 y la 6250-23 [45]. En la *Figura 12* se aprecia una fotografía del costado del medidor monofásico digital YTL y sus características generales.

Figura 12. Medidor Monofásico YTL (UIS-ESSA).



En la *Figura 13* se observa el plano de conexiones para el correcto funcionamiento del dispositivo.

Figura 13. Conexión del Medidor Monofásico YTL (UIS ESSA)[50].



3.6.1 Características del medidor Monofásico. El medidor monofásico marca YTL (Yongtailong) de procedencia China, se fabricó bajo requerimientos del convenio ESSA-UIS: Contrato SE-STE-PBE-0698-13. Convenio interadministrativo entre la Universidad Industrial de Santander y la electricadora de Santander S.A. E.S.P. Este medidor cuenta con las características que se detallan en la *Tabla 11*.

Tabla 11. Características del medidor monofásico.

Marca	YTL		Conexión	1F-2H
Modelo	UIS-1Y		Tipo de Relé	Relé interno
Rango de medición	127V @ 10(65) A - 60 Hz		Display	2x6 dígitos con backlight + 10 iconos
Sensor	Shunt con divisor de tensión.		Montaje	Riel DIN
Comunicación	Cableada RS485		Medidas en display	Energía Activa, Energía Reactiva, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Factor de potencia, Frecuencia, voltaje RMS, corriente RMS

3.6.2 Configuración del Medidor Monofásico. La conexión del medidor monofásico YTL se realizó interrumpiendo el circuito y acoplando los cuatro terminales del circuito (Fase de la línea, Fase de la carga, Neutro de la línea y Neutro de la carga). Posteriormente se realiza la conexión desde el puerto RS-485, hasta el puerto del mismo protocolo de comunicación, presente en la tarjeta M3.

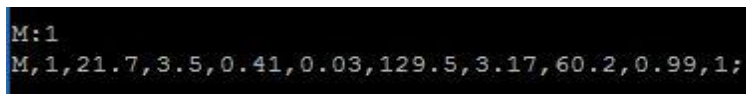
El cableado básico consiste en un par de hilos de cobre trenzados sobre el que se transmite una señal diferencial para enviar los bits de datos, que es altamente libre de interferencias y admite largas distancias. Además del par trenzado para datos, pueden usarse líneas de 0V y 5V para alimentar dispositivos del bus. Los bits se transmiten mediante una trama asíncrona [51].

3.6.3 Obtención de datos del medidor Monofásico. El medidor monofásico digital YTL, se comunica con la tarjeta de recolección de datos *Multi Metering Manager* (M3), encargada de decodificar los datos del sensor y enviarlos por medio del protocolo *ZigBee* a través de un módulo *Xbee pro 2.4 DM* unido a la placa de la M3. El programa principal de la *Raspberry Pi* se encarga de enviar una instrucción por medio del módulo *Xbee* conectado al sistema central, al módulo *Xbee* de la tarjeta decodificadora (*Multi Metering Manager*) y recibe de vuelta los datos de tensión, corriente, potencia, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia en forma de cadena de valores separados por comas.

A través de la librería *Wiring Pi* [52], el programa habilita el puerto serial (UART a 9600 baudios) y envía mediante *Zigbee* la instrucción **M:1**, que la tarjeta M3 interpreta como la petición de los datos del medidor 1. Posteriormente la M3 envía

los datos en una cadena de valores separados por comas; el módulo principal toma cada dato y la almacena en una variable diferente para cada medida. En la *Figura 14* se muestra un pantallazo de la información medida.

Figura 14. Información entregada por la tarjeta M3 al módulo central [imagen de minicom].



```
M:1
M,1,21.7,3.5,0.41,0.03,129.5,3.17,60.2,0.99,1;
```

3.6.4 Tarjeta de recolección de datos *Multi Metering Manager*. La tarjeta de recolección de datos es la encargada de recibir la información del medidor monofásico, des-encryptarla y posteriormente enviarla al módulo *Xbee 2.4 Pro* unido a la tarjeta de desarrollo *Raspberry Pi* para su procesamiento. Esta tarjeta fue desarrollada bajo el proyecto SITELRED para la interoperabilidad inalámbrica de los medidores YTL. En la *Tabla 12* se detallan las características principales del dispositivo.

Tabla 12. Características de la tarjeta Multi Metering Manager.

Procesador	Freescale MC68HCS08QE16
Módulo de comunicación	Xbee XBP24DMWIT

Tensión de alimentación	5 VDC @ 300mA max
Sensores	Temperatura, voltaje, y apertura de caja.

4 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

En búsqueda de alcanzar los objetivos específicos se analizó la manera más conveniente de visualizar los datos de las tablas de mediciones; de modo que un usuario pudiera acceder fácilmente a la información real e histórica de estos datos, y se decidió implementar utilizando Java. La interfaz cuenta con dos etapas principales: almacenamiento en una base de datos y tablas *MySQL*; y el desarrollo del aplicativo utilizando lenguaje de programación Java.

4.1 BASE DE DATOS

Para la fase *uno*, se encontró que se debía almacenar la información enviada por los sensores y obtenida por la tarjeta de desarrollo en una base de datos preferiblemente en lenguaje estructurado de consulta (*Structured Query Language*) *SQL*. El lenguaje *SQL* es un lenguaje de programación declarativo, creado para realizar este tipo de tareas, es decir, definir, gestionar y manipular la información contenida en una base de datos [53].

Al definir *SQL* como herramienta principal para el desarrollo de la base de datos, se definió el sistema de gestión para la creación de la misma. Existen diversas aplicaciones que cumplen con dicha tarea, las más comunes se describen en la *Tabla 13*.

Tabla 13. Sistemas de gestión de bases de datos.

Sistema de gestión de bases de datos	Desarrollador
Oracle Database	Oracle
SQL Server	Microsoft
DB2	IBM
<i>MySQL</i>	Sun Microsystems

Una vez estudiadas todas las posibilidades se seleccionó *MySQL* [54], debido a que es la más accesible y por lo tanto se encuentra una extensa recopilación bibliográfica; librerías en lenguaje C; cuenta con soporte para Windows, Mac y Linux, y se pueden instalar sus servidores y clientes en la *Raspberry Pi* [54]. Estas bases de datos y sus tablas, se desarrollaron mediante *PhpMyAdmin*, una herramienta *Web* gratuita, escrita en PHP y diseñada para administrar las bases de datos *MySQL* [25].

PhpMyAdmin puede administrar un servidor *MySQL* completo (a través de un “super usuario”) o una base de datos sencilla. Para administrar el servidor, es necesario tener un usuario *MySQL* debidamente configurado que pueda leer o escribir sobre la base de datos deseada.

En el programa diseñado para la *Raspberry Pi* se accedió a la base de datos y se crearon las tablas dedicadas a almacenar las diferentes variables (tensión, corriente, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, energía activa, energía

reactiva, frecuencia, iluminancia, presencia, hora y fecha); añadiendo las librerías y las distintas funciones que permitieron que cada dato tomado por cada sensor, se almacenara en su respectiva tabla en la base de datos, definiendo el sensor que había tomado la muestra, la magnitud, las unidades de medida y la hora/fecha en la que ingresó el dato. *Ver Anexo D para el programa principal y Anexo G para ver una tabla en PhpMyAdmin.*

4.2 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA UTILIZANDO LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN JAVA

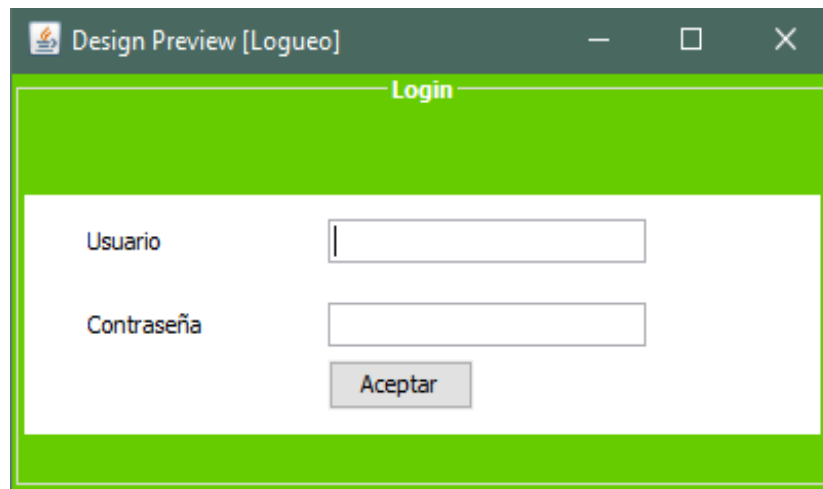
Para la realización del aplicativo se utilizó el lenguaje de programación *Java*, mediante el entorno de desarrollo integrado (libre) **NetBeans**, el cual hizo el proceso de programación más práctico e intuitivo, además de las librerías *JFreechart* y *JDateChooser*, utilizadas para facilitar la ilustración de los datos y la selección de fechas de manera ordenada. Una vez establecida la comunicación con la base de datos se define la estrategia de diseño y programación de la interfaz.

La interfaz gráfica consta de un inicio de sesión (*Login*), donde se ingresa el usuario y la contraseña para acceder a la información principal, allí se visualiza en tiempo real e histórico la información de los diferentes sensores.

4.2.1 Interfaces del sistema. Las interfaces de usuario están optimizadas para una resolución de 851 x 602 píxeles, con el fin ofrecer un adecuado campo visual y espacio suficiente para la información. Así mismo se tuvo en cuenta la selección de colores, forma y dimensiones para familiarizar al usuario con la aplicación; esto sumado a la integración de ventanas independientes (simulando un navegador web), mejora la curva de aprendizaje del usuario con la aplicación.

4.2.2 Pantalla de Inicio de sesión. Se compone de una zona o “JFrame” con dos paneles, en los cuales se ubican: el título, las etiquetas y los respectivos recuadros de introducción de usuario y contraseña. En caso de que la información sea correcta dejara ingresar al panel principal, de lo contrario mostrará un mensaje de advertencia impidiendo el acceso (ver *Figura 15*).

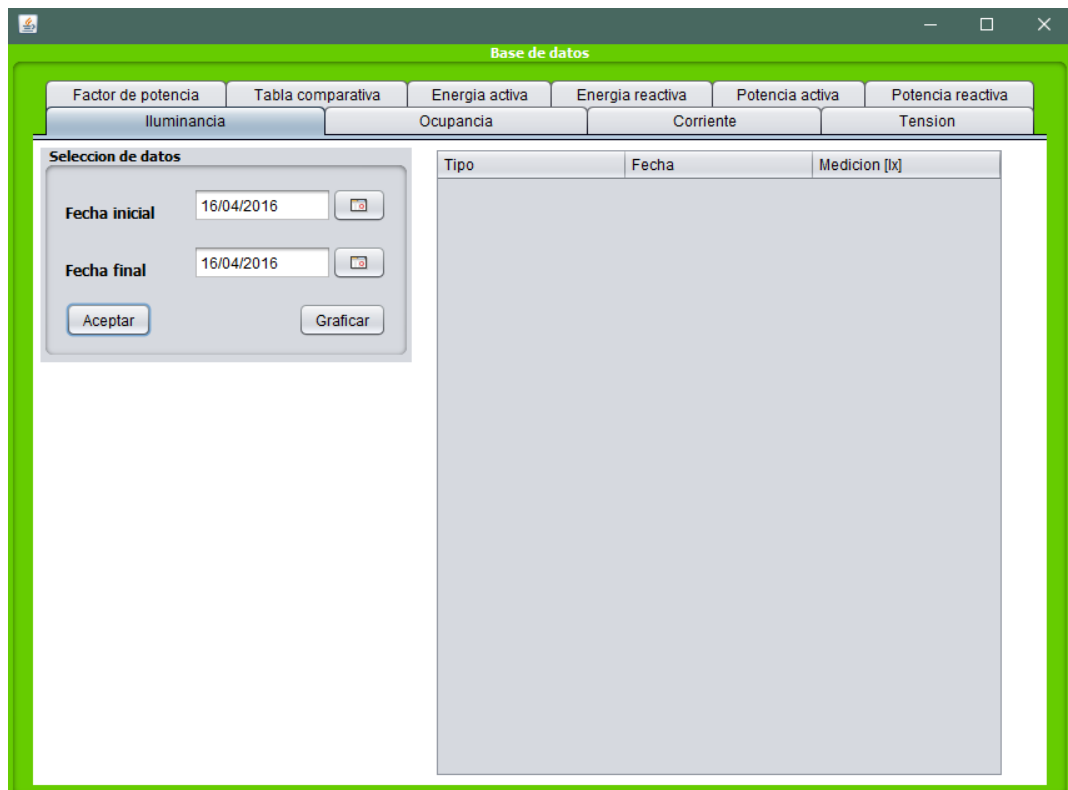
Figura 15. Ventana de inicio sesión.



The image shows a screenshot of a login window. The window title bar reads "Design Preview [Logueo]" and includes standard minimize, maximize, and close buttons. The main content area has a green header with the word "Login" centered. Below the header is a white rectangular area containing two input fields. The first field is labeled "Usuario" and the second is labeled "Contraseña". Below these fields is a button labeled "Aceptar". The entire window is framed by a green border.

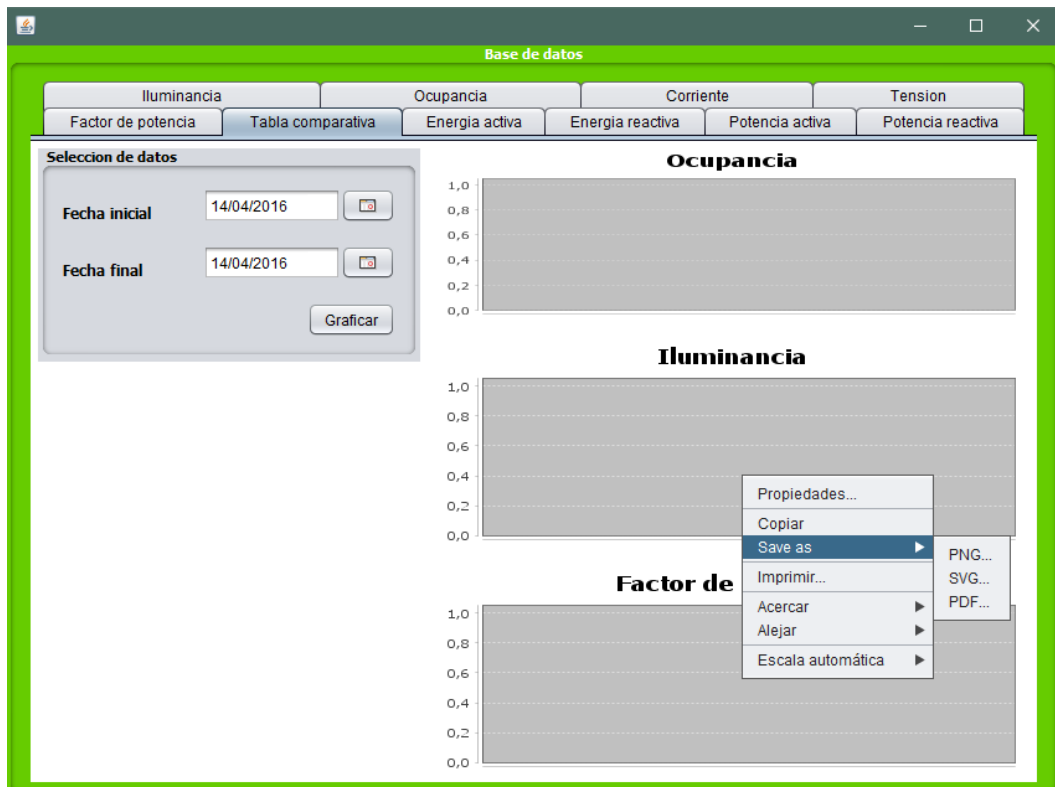
4.2.3 Módulo principal. En este módulo se puede acceder a cada una de las pestañas correspondientes a las variables monitorizadas (ocupación, iluminancia, voltaje, corriente, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, energía activa y energía reactiva), cada una de estas ventanas cuenta con una herramienta en la cual se puede escoger la fecha de inicio y fin del intervalo de las mediciones almacenadas en la base de datos, además cuenta con dos opciones, la primera permite mostrar en pantalla una tabla con los datos seleccionados y la segunda gráfica la información del sensor de la pestaña seleccionada en una nueva ventana junto al encabezado que contiene la información de la variable que se está consultando (ver *Figura 16*).

Figura 16. Ventana del módulo principal de la interfaz gráfica.



4.2.4 Ventana comparativa. Entre las pestañas del módulo principal, se encuentra una llamada “tabla comparativa” (Figura 17), diseñada para relacionar las tres variables principales a monitorizar Iluminancia, ocupación y energía activa entre sí, brindándonos una idea del consumo con respecto a la iluminación natural en el transcurso del día. Cada gráfica se muestra en su respectivo panel, estos a su vez acceden a la información limitándose en un rango previamente seleccionado, además al hacer clic derecho sobre cualquiera de ellas se abre un panel que brinda opciones tales como: propiedades, imprimir y guardado en diferentes formatos entre otras.

Figura 17. Gráficas comparativas.



En el *Anexo H*, se presenta la descripción de la clase de programación utilizada para configurar el acceso a la interfaz gráfica.

5 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

Una vez finalizada la etapa de selección de elementos y diseño del modelo, se procedió a unificar las fases del proyecto y realizar pruebas en un salón del edificio de Ingeniería Eléctrica. El salón seleccionado fue el 302, el cual tiene instalado el sensor de presencia OSCxx-MOW, 40 lámparas fluorescentes distribuidas en luminarias y dos bañadores de luz para el tablero. El sensor de presencia es el encargado del control de encendido de las luminarias del salón, además de allí se toma la señal de presencia procesada en la tarjeta de desarrollo del proyecto.

5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO EN EL SALÓN 302 DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Una vez definida la ubicación del medidor monofásico, la cual dependía directamente del punto de conexión eléctrica general de las luminarias, se encontró que la totalidad de las lámparas y los bañadores de luz están conectados *Power Pack* OSPxx. que alimenta al sensor de presencia OSCxx-MOW y activa el circuito de iluminación. Con esto se garantiza que el medidor monofásico analiza las variables de tensión, corriente, factor de potencia, potencia Activa, potencia reactiva, energía activa, energía reactiva y frecuencia de la totalidad de elementos del sistema de iluminación.

En la *Figura 18* se muestra la ubicación de la caja eléctrica que contiene el medidor monofásico y la tarjeta *Multi Metering Manager*. Se encuentra instalada a 30 cm del

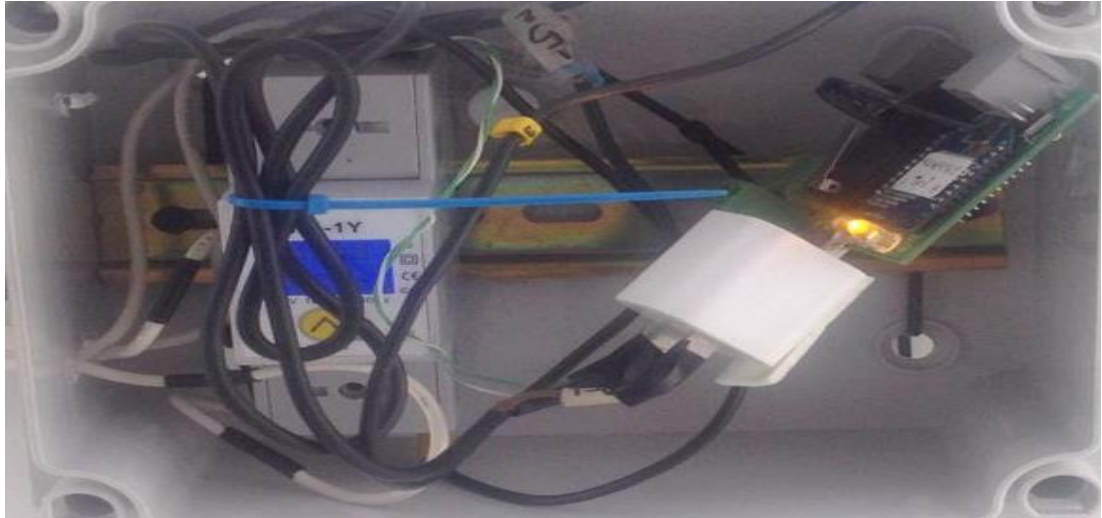
Power Pack OSPxx, y debido a que no es una instalación permanente, es sujeta a las canaletas metálicas del salón con correas plásticas.

Figura 18. Ubicación del medidor monofásico YTL (UIS-ESSA).



Por su parte, el medidor monofásico se instaló utilizando un riel *DIN* como se muestra, a continuación, en la *Figura 19*.

Figura 19. Instalación del medidor monofásico YTL (UIS-ESSA) y la tarjeta M3.



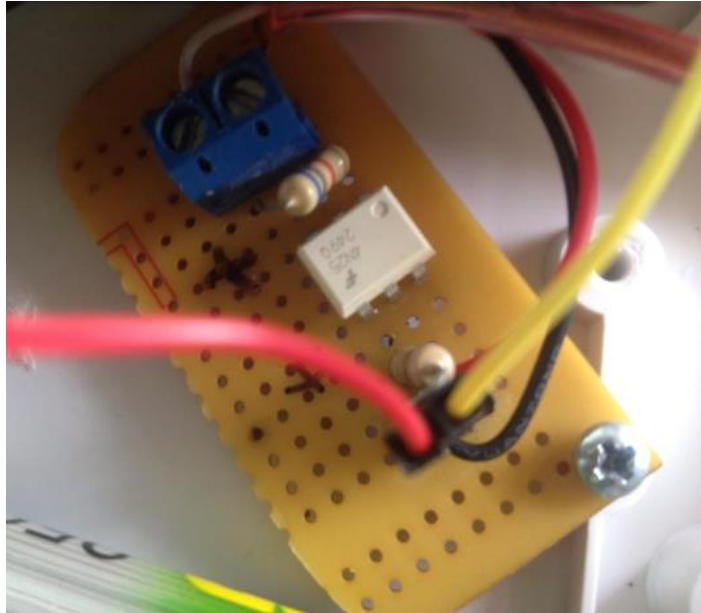
5.2 IMPLEMENTACIÓN DEL OPTOACOPLADOR Y PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE PRESENCIA

Como se describió anteriormente el sensor OSCxx-MOW envía una señal de tensión cuando detecta presencia en el aula (24 VDC), el cual debe ser reducido a 3,3 V por requerimientos de la tarjeta de desarrollo. La implementación del optoacoplador se realizó en baquelita universal, puesto que es un prototipo, y allí llega la señal del sensor de forma cableada, sujeto a las canaletas del salón con correas plásticas hasta el punto deseado.

La salida del circuito del optoacoplador se encuentra conectada a la tarjeta de desarrollo en el módulo principal. En este caso se decidió conectar una alimentación aislada para el circuito del optoacoplador, utilizando baterías AA conectadas en

serie, que entregan 3,2 V. En la *Figura 20* se muestra la implementación del optoacoplador.

Figura 20. Fotografía del circuito del optoacoplador.



5.3 INSTALACIÓN DE LOS SENSORES DE ILUMINANCIA BH1750FVI.

El sensor es conectado a la tarjeta utilizando los pines SDA y SCL y realizando entre ellos una conexión en paralelo. La posición de los sensores se estableció determinando un punto medio de medición en el salón, es decir, se dividió el salón en 2 zonas simétricas y en la mitad de cada zona se situó un sensor de iluminancia, para cubrir toda el área de interés. Una vez establecida la posición de cada sensor,

se procedió a realizar pruebas de funcionamiento con diferentes longitudes de cables que los conectaban con la tarjeta de desarrollo.

En el proceso de puesta en marcha del sistema se realizaron pruebas con alambre de cable de ethernet a una distancia mínima de 10 cm, encontrando que la comunicación I^2C funcionaba a cabalidad, por ende los sensores entregaban la información de manera correcta. Este tipo de pruebas se realizó incrementando la longitud de los alambres, encontrando que a una distancia máxima de 5 metros el sistema es incapaz de reconocer las direcciones de los sensores, esto ocurrió porque la comunicación I2C tiene restricciones en cuanto a la longitud del cableado, debido a la susceptibilidad al ruido con algunos conductores.

Las pruebas con cable categoría 5e (blindado) entregaron que el sistema funciona correctamente, reconociendo las direcciones de los sensores 23 y 5c utilizando aproximadamente 10 metros de cable para cada sensor. Al ser este, un modelo piloto y de implementación temporal se ubicó la caja que contiene a los sensores a 78 cm del suelo y distanciados uno del otro 2,90 m, y a 3 m de distancia entre el tablero y cada sensor. En la *Figura 21* se observa la ubicación de los sensores en el aula 302.

Figura 21. Instalación de los sensores BH1750FVI en el aula 302



En la *Figura 22* se muestra la caja contenedora de los sensores de iluminancia que se instalaron temporalmente en las aulas seleccionadas. Sobre ella se sitúa el sensor y dentro de la misma se encuentra el sensor conectado a un circuito impreso que cuenta con un conector hembra para cable rj45 (cat.5e).

Figura 22. Instalación de los sensores de iluminancia.



5.4 IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO PRINCIPAL DE RECEPCIÓN, PROCESAMIENTO Y ENVÍO DE DATOS

A este módulo llega la totalidad de la información recopilada por los sensores y el medidor monofásico, en la siguiente lista se detallan los elementos que allí se encuentran:

- Tarjeta *Raspberry Pi*.
- Módulo *Xbee 2.4 DM*.
- Circuito del optoacoplador.
- Placa con dos conectores hembra para los cables de sensores de iluminancia rj45 (cat 5e).
- Adaptador USB de *Wi-Fi para la Raspberry Pi*.
- Batería recargable
- Baterías AA

La ubicación de este módulo se definió, por practicidad, en el punto más cercano a una fuente de alimentación para la tarjeta *Raspberry Pi*. Aunque se dispone de una batería recargable, para lograr independencia y movilidad en el sistema. En la *Figura 23* se observa la totalidad de los elementos que componen el módulo principal de procesamiento.

Figura 23. Módulo principal de procesamiento de los datos



5.5 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA PRINCIPAL.

La puesta en marcha del sistema de monitorización inalámbrica se realiza de la siguiente manera:

- Conectar la *Raspberry Pi* a alimentación de 5 volts.
- Esperar a que la luz del *dongle* de *WiFi* sea intermitente (esto quiere decir que se conectó a una red inalámbrica). Si no se conecta, hay que agregar una nueva red en el archivo: `"/etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant"`.
- Establecer comunicación vía SSH con la dirección *IP* de la tarjeta (192.168.XXX.XX) a través del puerto 22. Si la dirección IP no funciona se debe escanear con el programa *IPSCANNER* en *Windows* o el comando `Nmap -sP 192.168.150.1/24` en *Linux*; para hallar la nueva dirección de la tarjeta.
- ingresar el *Login*: "pi" y el *Password*: "raspberry".
- Revisar la conexión *I²C* con: `sudo i2cdetect -y 1`. La *Figura 24* muestra las direcciones 23 y 5c de los dos sensores de iluminancia, indicando que los dos están conectados correctamente.

Figura 24. Conexión *I²C*.

```

pi@raspberrypi ~ $ sudo i2cdetect -y 1
   0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
10:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
20:  --  --  --  23  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
40:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
50:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  5c  --  --
60:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
70:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --

```

- Revisar la fecha con el comando *date*, en caso de ser incorrecta, actualizarla con el comando: *sudo date --set "2016-mm-dd hh:mm"*.
- Ejecutar el programa con: "*sudo nohup ./lux_pot_bd &*" (sudo ejecuta como *root*, *nohup* ejecuta el programa y no permite que se cierre, a pesar de cerrar la terminal)
- Ingresar el comando: "*exit*"
- Revisar que en la interfaz s estén recibiendo datos actuales.

Después de poner en marcha el sistema, puede durar activado indefinidamente sin presentar problemas.

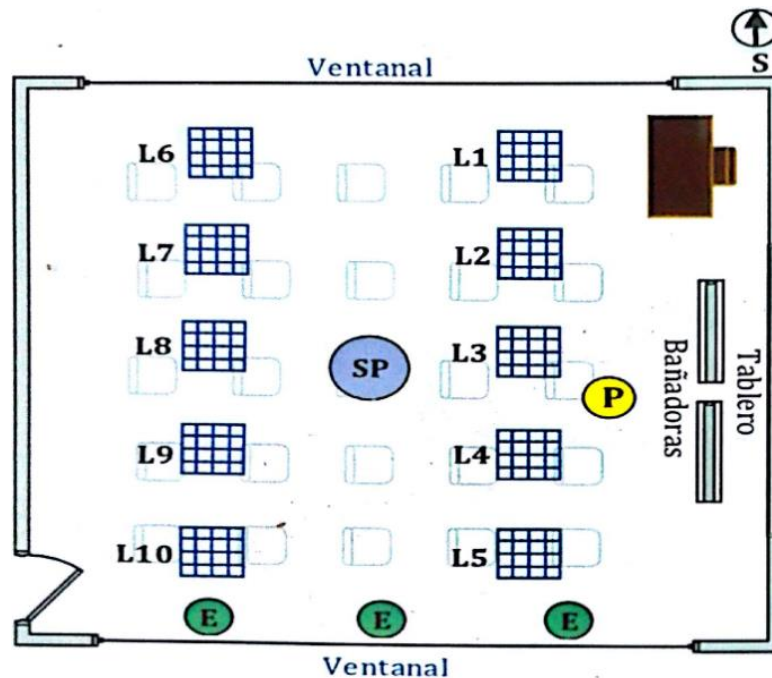
5.6 UNIFICACIÓN DE FASES Y PUESTA EN MARCHA DE LA INTERFAZ GRÁFICA

Una vez realizada la implementación de todos los dispositivos (medidor monofásico YTL, sensores de iluminancia y sensor de ocupación), y ejecutado el programa principal para que la tarjeta *Raspberry Pi* (conectada a una red *Wi-Fi*); la información se almacena en la base de datos, con un período de dos minutos, y de este modo, permite la visualización del comportamiento de las variables en la interfaz gráfica.

Se realizaron pruebas en el salón 302, el cual tiene un área total $53,5 \text{ m}^2$; en la *Figura 25* se muestra el plano del salón y algunas características, donde L_i son las

luminarias del salón, *SP* es el sensor de presencia, *P* el proyector, *E* son los extractores de aire y *B_i* son las luminarias “Bañadoras”.

Figura 25. Plano del salón 302 (Edificio IEET). [Plano propiedad de la escuela de IEET].



El sistema sube información la base de datos cada dos minutos, es decir toma treinta mediciones por hora, en un total de trescientas treinta mediciones cada día (este periodo es ajustable en el programa principal).

En la *Figura 26* se puede apreciar una gráfica de ejemplo del comportamiento de la corriente del salón 302 en el intervalo comprendido entre las 9:59 a.m. y las 11:01 p.m., y en la *Figura 27* se observa un ejemplo del gráfico de 3 filas (comparativo)

entre las variables de "ocupancia", iluminancia y Factor de potencia (estas gráfica fueron generadas con la interfaz desarrollada para el proyecto de grado).

Figura 26. Ejemplo de gráfica de corriente en la interfaz.

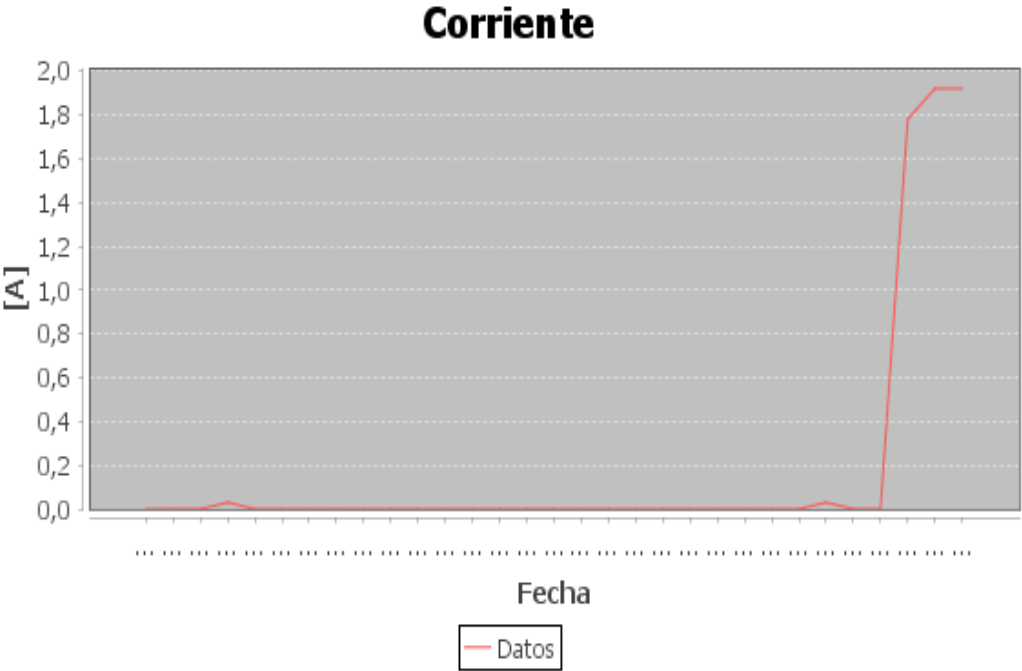
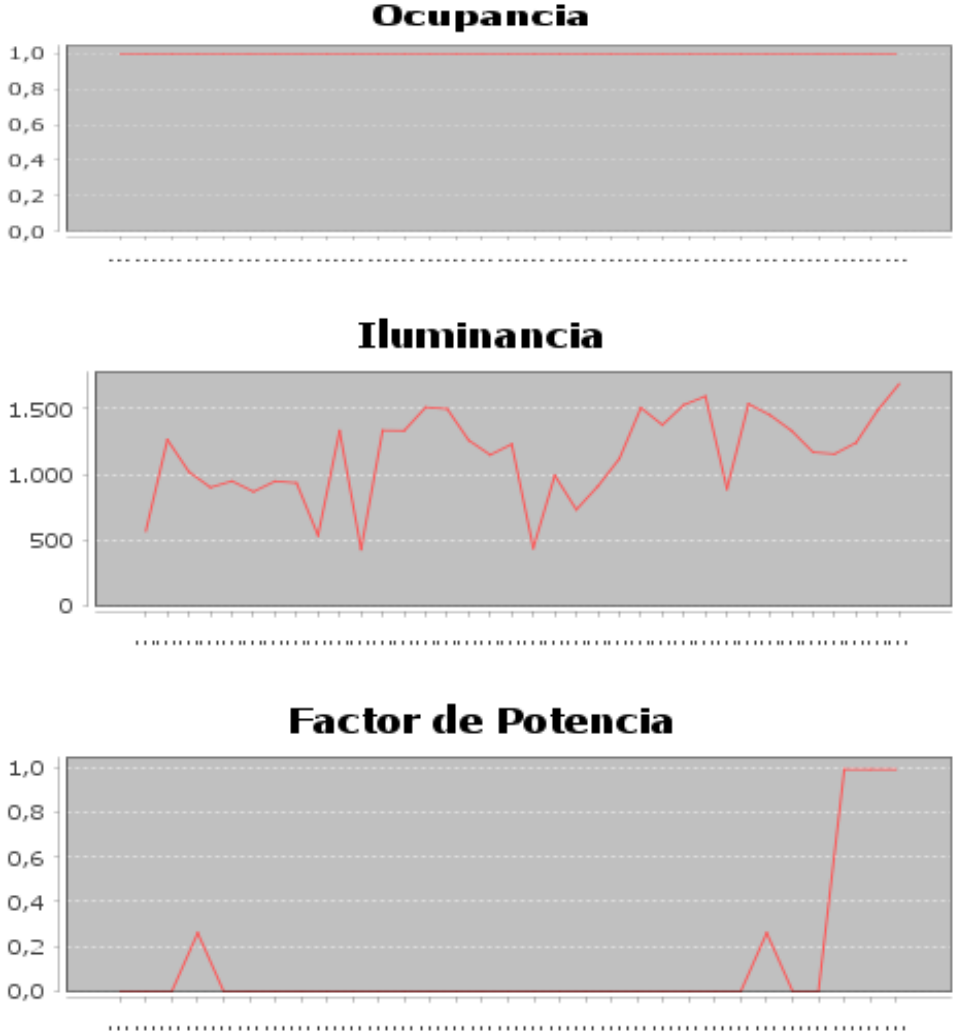


Figura 27. Ejemplo de gráfico de 3 filas realizado por la interfaz gráfica



En el siguiente capítulo se abordarán, de forma detallada, los resultados obtenidos por el sistema de monitorización.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas realizadas en las tres aulas asignadas del edificio de IEET, se graficó, comparó y analizó la correlación del comportamiento de las variables de interés, entre ellas: corriente, tensión, iluminancia, potencia activa, potencia reactiva, ocupación y factor de potencia.

Es de suma importancia resaltar que la ocupación del salón se dio por parte del grupo de trabajo del proyecto de grado (en el período de tiempo en que se realizaron las pruebas).

Las luminarias instaladas en los salones tienen cuatro modos o combinaciones de encendido, que para efectos de simplicidad, de ahora en adelante se nombrarán de la siguiente manera:

- **Modo 1:** Luminarias encendidas al 33% y bañadoras de luz apagadas.
- **Modo 2:** Luminarias encendidas al 100% y bañadoras apagadas.
- **Modo 3:** Luminarias encendidas al 33% y bañadoras encendidas.
- **Modo 4:** Luminarias encendidas al 100% y bañadoras encendidas.

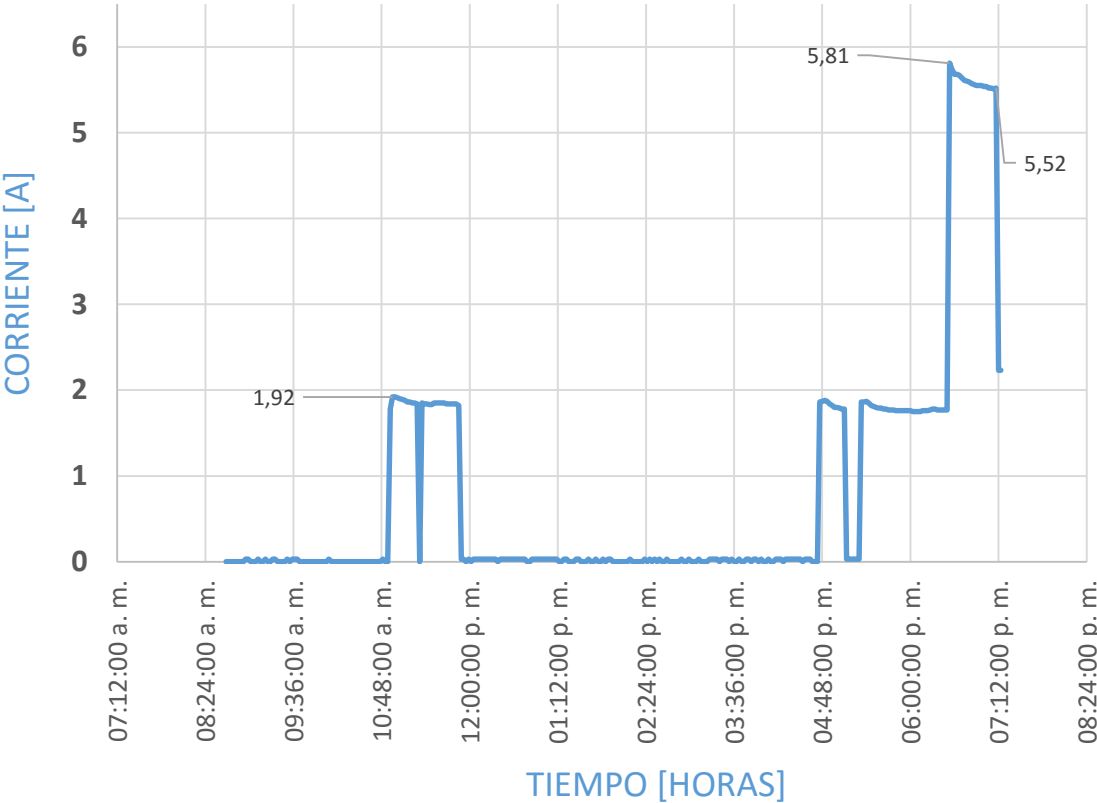
El cálculo de la incertidumbre de las mediciones de las distintas magnitudes que se presentarán a continuación, se encuentra en el *Anexo I*.

6.1 RESULTADOS DEL SALÓN 302.

Esta aula de clase fue la primera escogida para implementar el sistema completo y analizar las variables descritas en los objetivos. El sistema se activó en el intervalo que comprende desde las 8:37 a.m. hasta las 7:14 p.m.

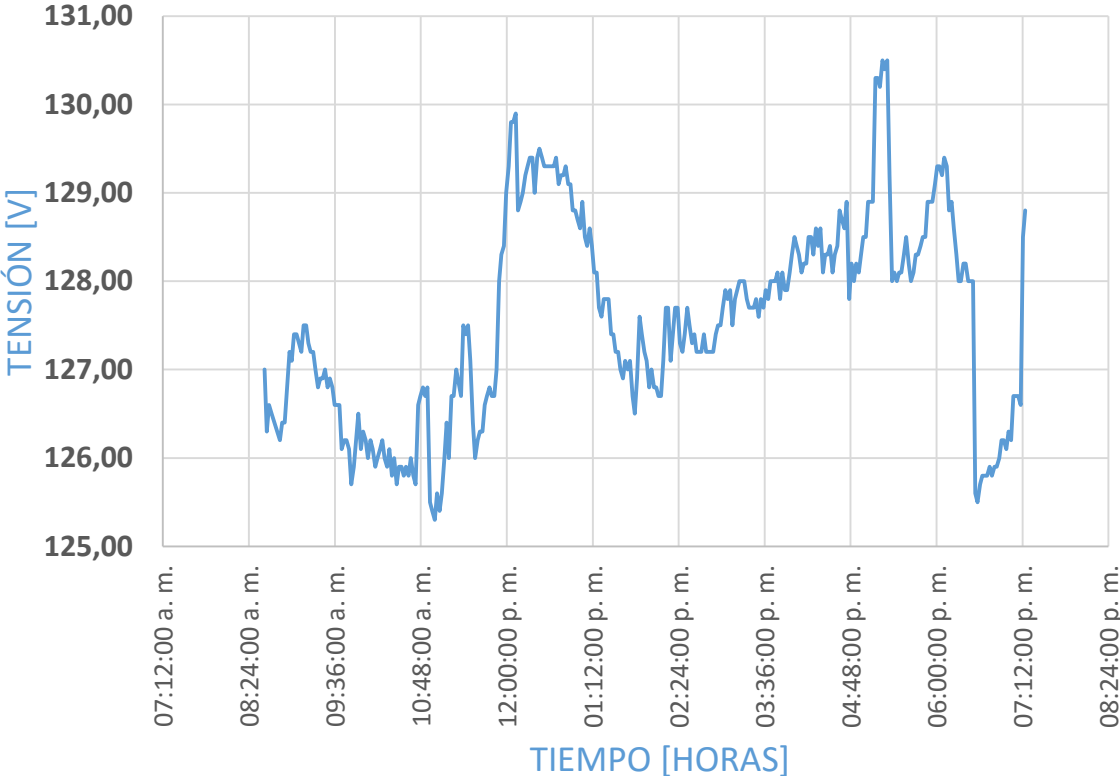
La figura 28 destaca el comportamiento de la corriente en el período de tiempo anteriormente mencionado. En esta se pueden observar 3 niveles de corriente que coinciden con 3 modos de combinación de las luminarias.

Figura 28. Comportamiento de la corriente en el salón 206.



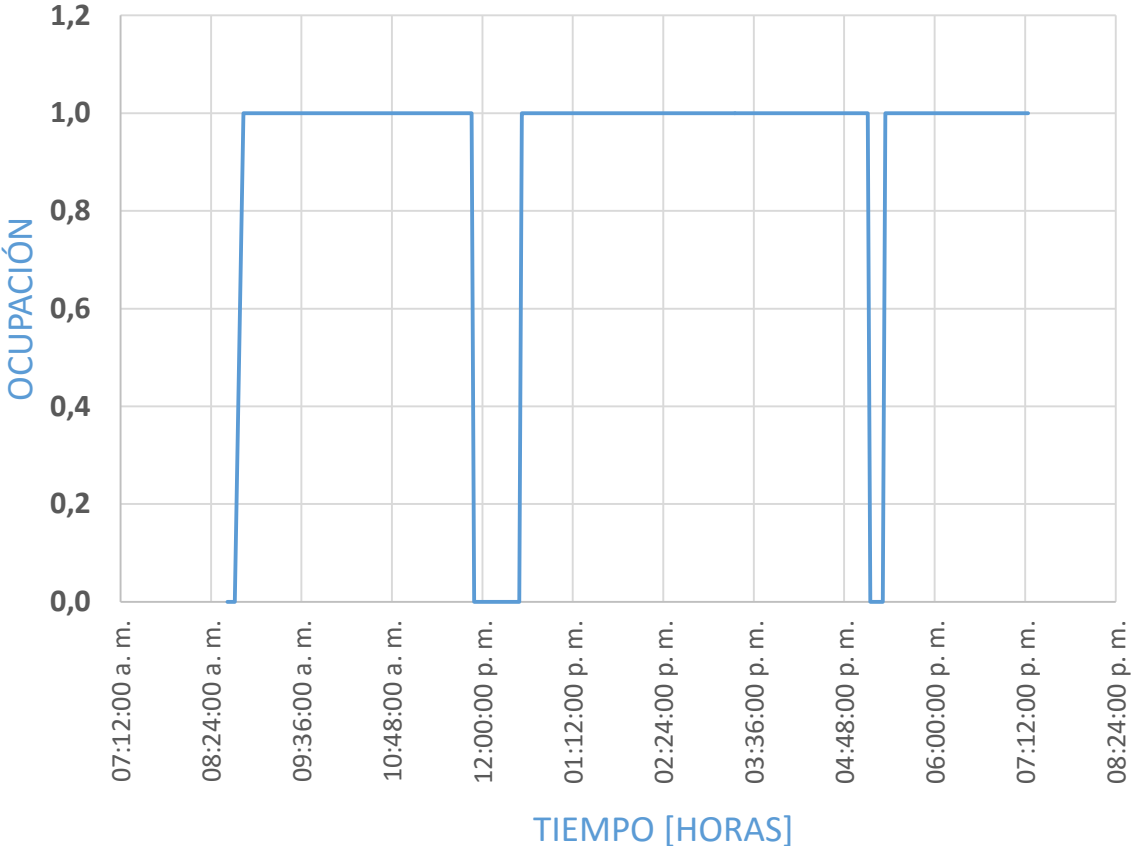
La figura 29 representa el comportamiento de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo mencionado anteriormente.

Figura 29. Comportamiento de la tensión en el salón 302



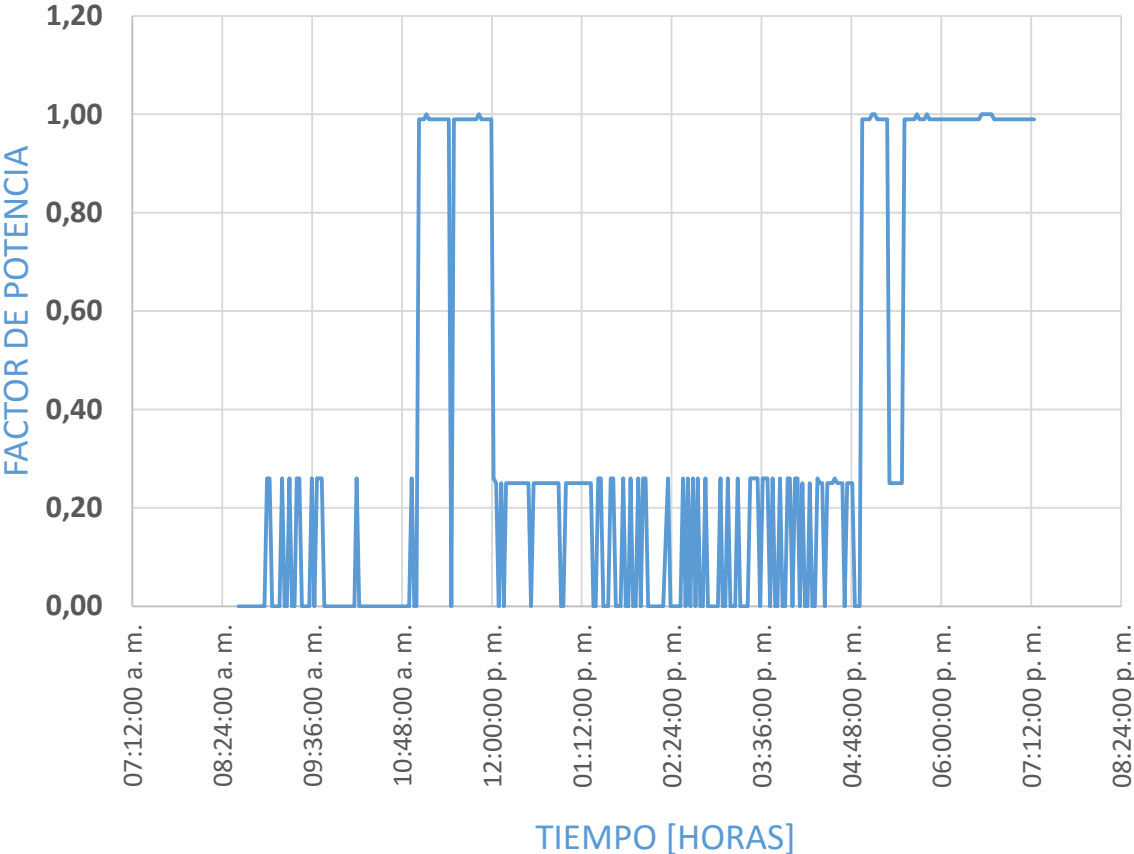
La *Figura 30* destaca los momentos en los que el salón estuvo habitado, pues expone los datos obtenidos del sensor de presencia (ocupación).

Figura 30. Ocupación del salón 302.



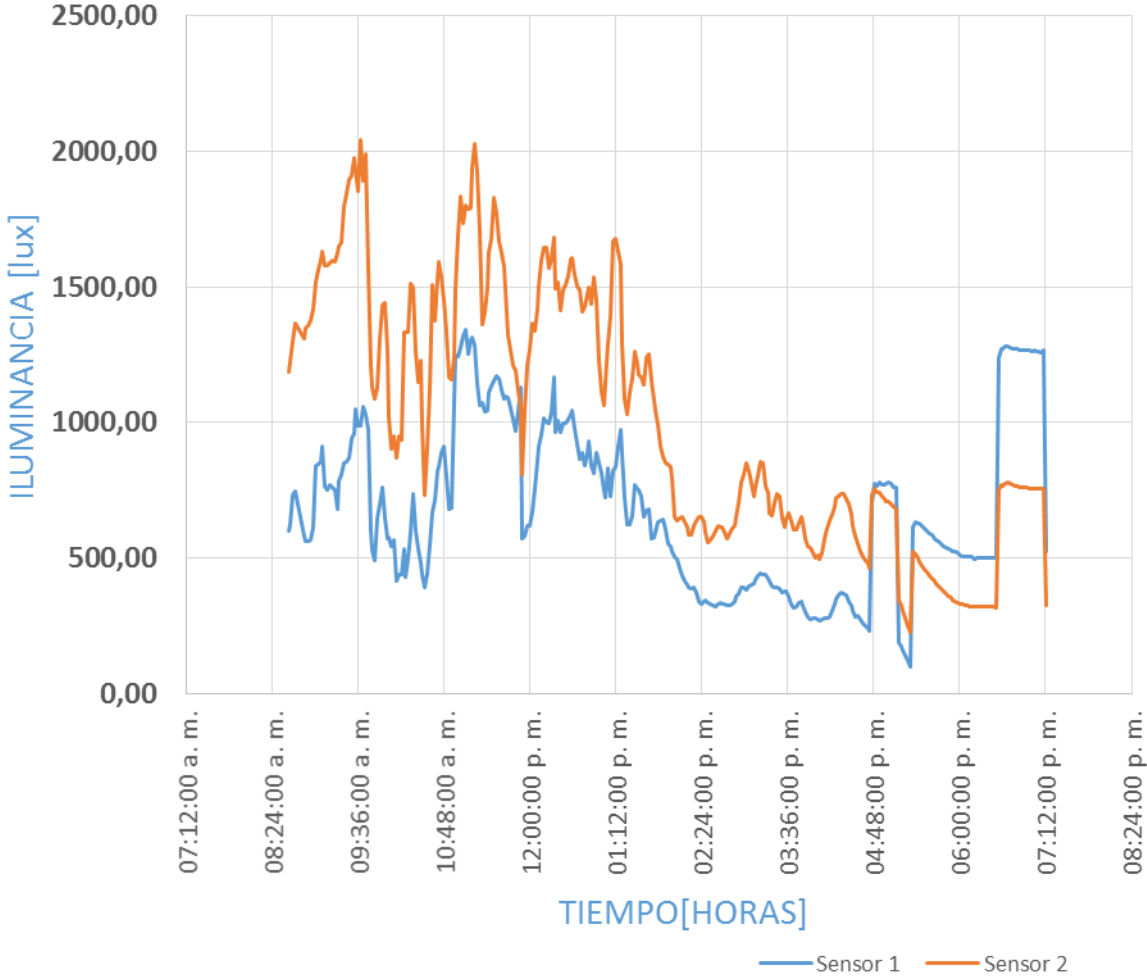
En la *Figura 31* se aprecia la gráfica de las mediciones entregadas por el medidor monofásico YTL del factor de potencia.

Figura 31. Comportamiento del factor de potencia en el salón 302.



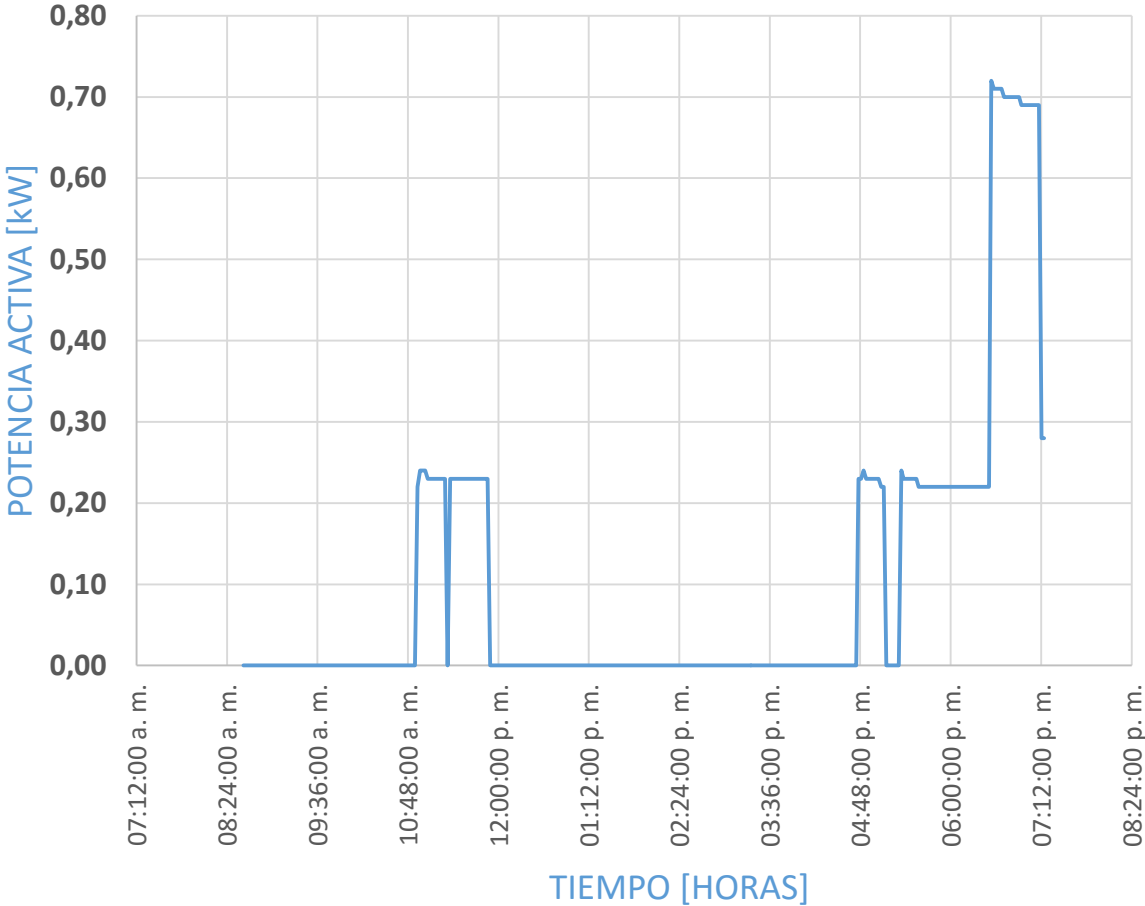
En la *Figura 32* se aprecian los datos obtenidos por los sensores de iluminancia1 y 2, distribuidos en el salón.

Figura 32. Comportamiento de la iluminancia medida por los sensores 1 y 2



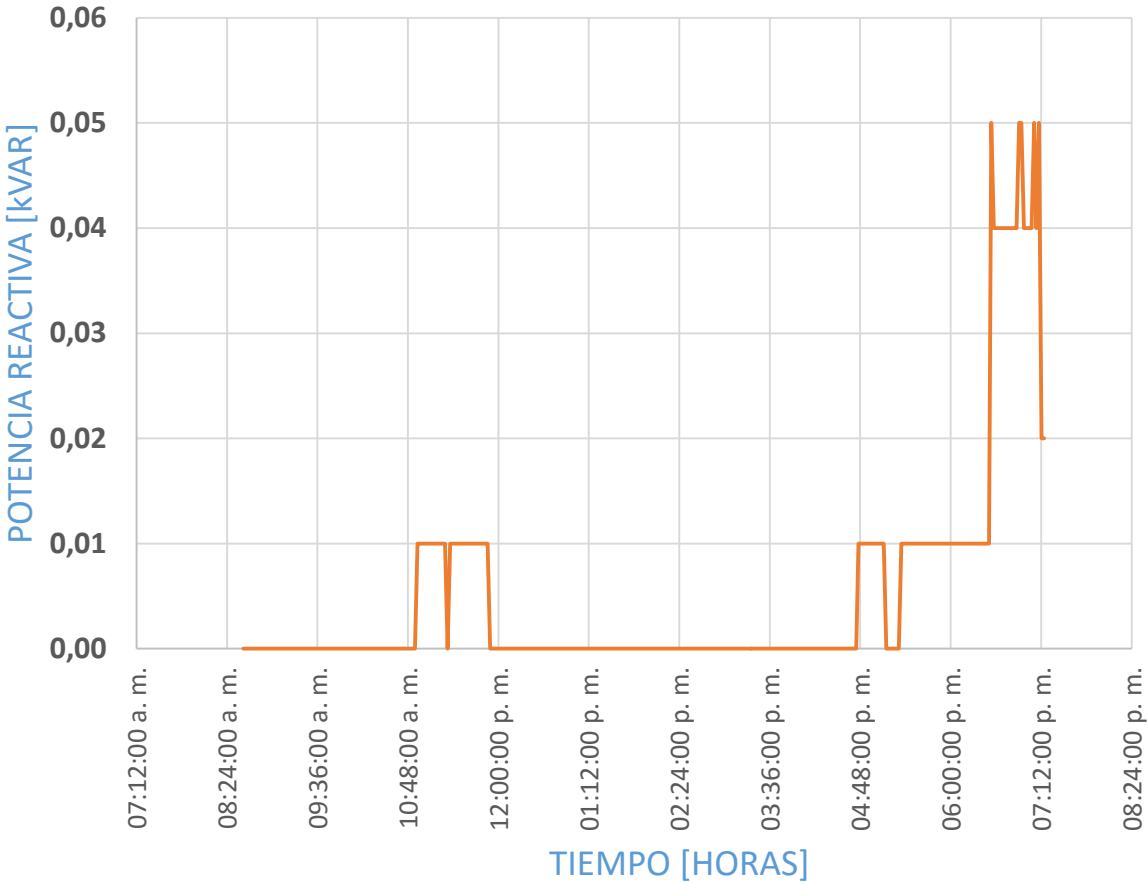
La Figura 33 y la Figura 34, representan la potencia activa y reactiva (que consumen las luminarias encendidas en los diversos modos) respectivamente.

Figura 33. Comportamiento de la potencia activa en el salón 302



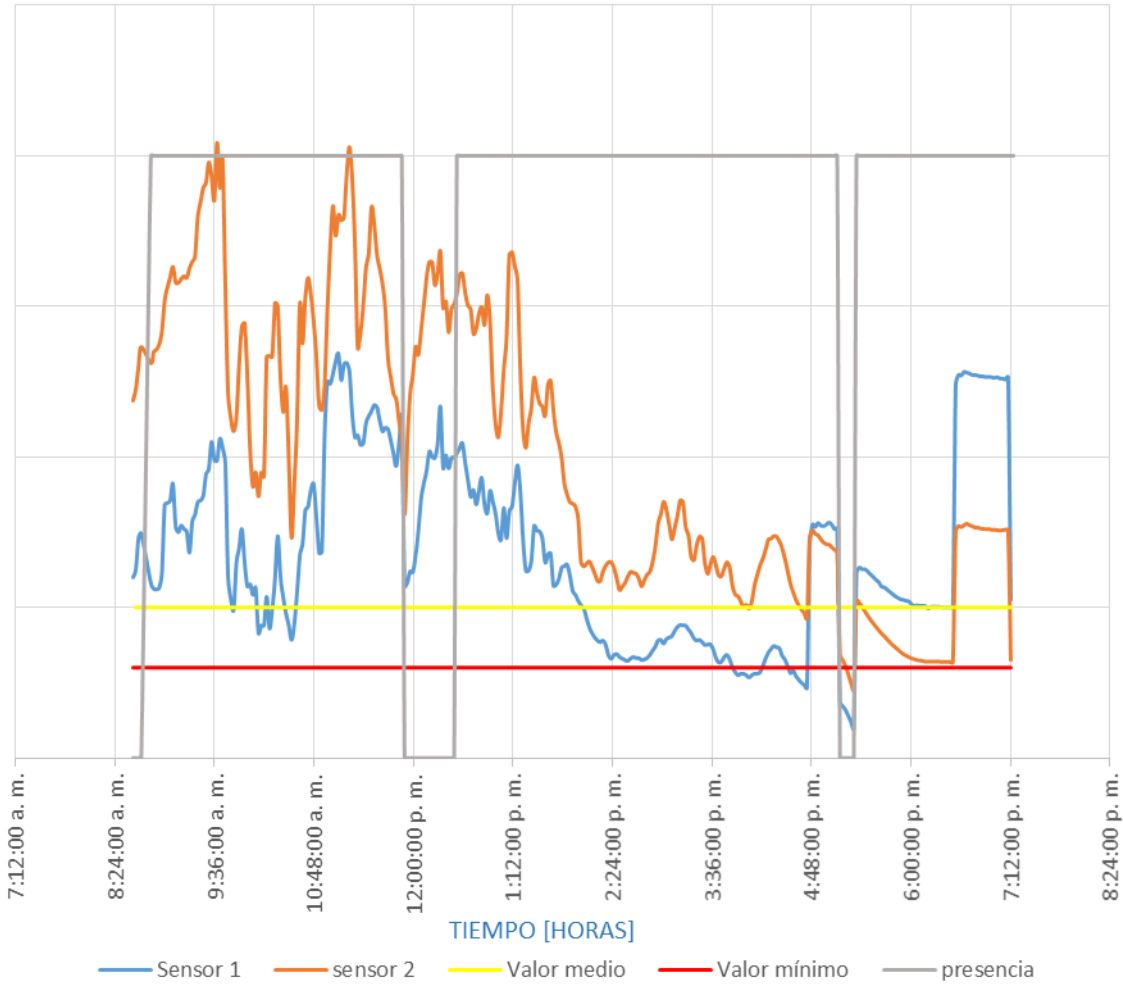
En la *Figura 33* se pueden advertir los modos de encendido de las luminarias y bañadoras de luz por el consumo de las mismas; de tal manera que entre las 10:48 a.m. y las 12:00 p.m. se aprecia el *Modo 1* (consumo de 0,22 kW); aproximadamente a las 6:30 p.m. se encendieron las luces en el *Modo 4* (consumo de 0,72 kW) y al poco tiempo se cambia al *Modo 2* (consumo de 0,69 kW).

Figura 34. Comportamiento de la potencia reactiva en el salon 302.



Los gráficos que se muestran a continuación no cuentan con una etiqueta de cuantificación en el eje vertical, pues se manejan diversas magnitudes y los datos de presencia han sido escalados para una mejor visualización. En la *Figura 35* se observa el comportamiento de los dos sensores de iluminancia junto con el de ocupación, además se establecen los valores (mínimo y medio) de iluminancia propuestos por el RETILAP para un aula de clases; y en la *Figura 36* se detalla el consumo de potencia de las luminarias, junto con la medida del sensor de presencia en el salón.

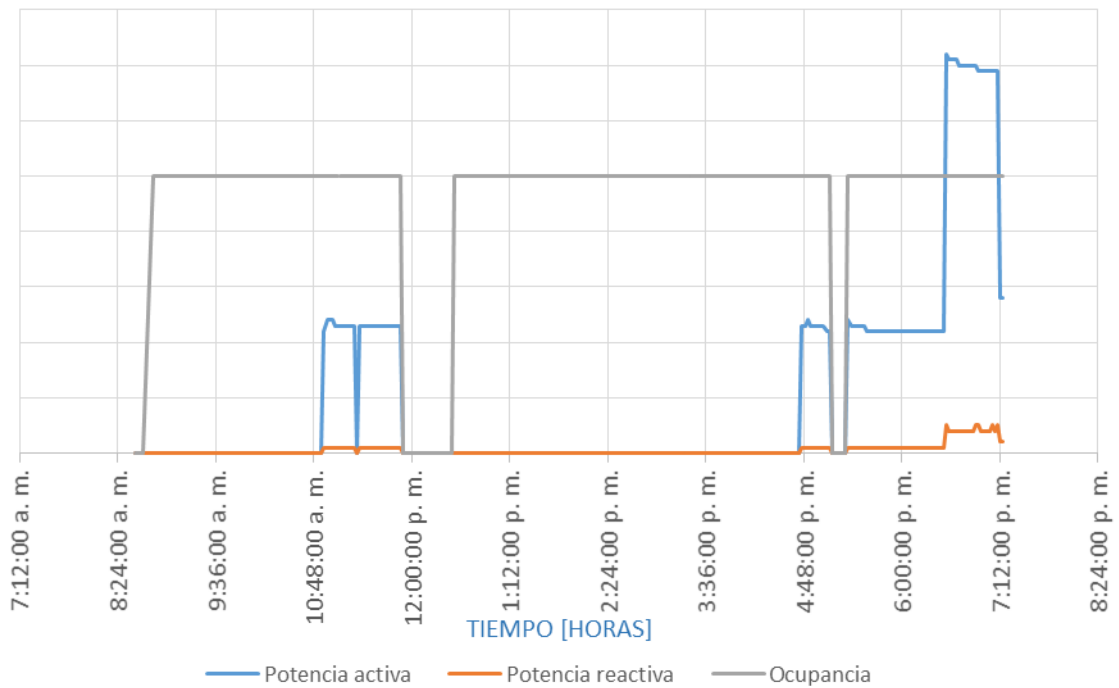
Figura 35. Análisis del comportamiento de la iluminancia junto a la presencia en el salón 302.



En la *Figura 35* se observa que la iluminancia desciende por debajo del nivel permitido a las 4:48 pm, estando el salón habitado por el equipo de desarrollo del

trabajo de grado; pero en la *Figura 36* se observa que en ese momento se activan las luminarias del salón.

Figura 36. Análisis del comportamiento de la potencia junto a la presencia en el salón 302.



En la *Figura 36* se observa que las luminarias se encienden en las horas de la mañana y permanecen encendidas aproximadamente una hora, mientras tanto la *Figura 35* corrobora que los niveles de iluminancia están por encima del valor medio. Por otra parte, cuando el sensor de presencia detecta que no hay ocupación del salón, las luminarias se apagan.

6.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE CONSUMO (kW/m^2) PARA LAS AULAS 302, 206 Y 204 DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

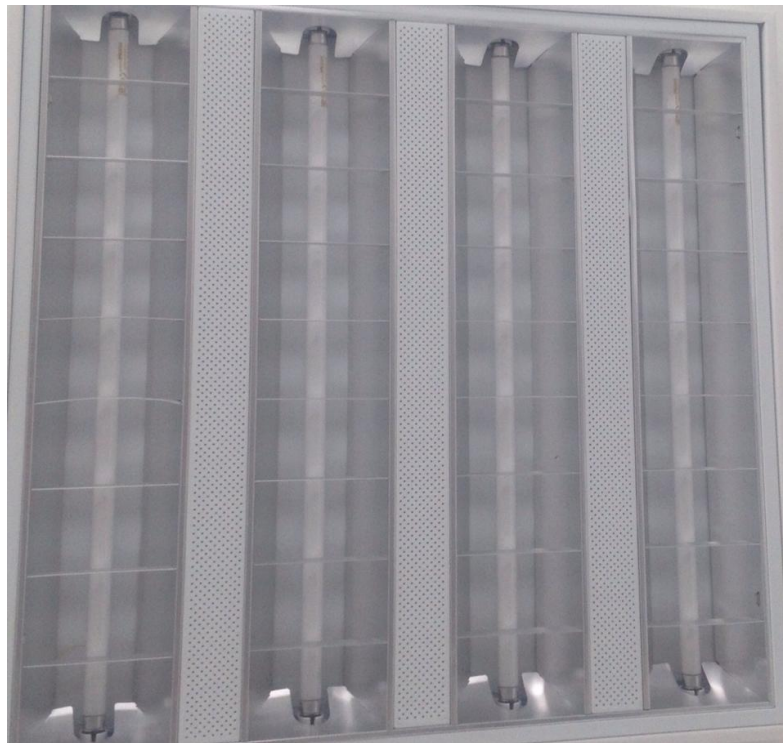
Basados en el número de luminarias instaladas en cada uno de los salones, el área y la potencia consumida, se puede establecer un factor que relacione el consumo de potencia con el área de cada salón. En la *Tabla 14* se describe el número de lámparas y el área de cada salón.

Tabla 14. Cantidad de lámparas y área de los salones.

Salón	Número de lámparas	Área [m^2]	Bañadores de luz
302	40	53,5	2
206	24	37,57	2
204	36	61,13	2

En la *Figura 37* se aprecia una fotografía de las luminarias con las lámparas instaladas en los salones; la referencia de las lámparas es: Tl5 14w/840 yz14r16/g *Philips essential*.

Figura 37. Lámparas instaladas en los salones



Se propone el análisis del índice de consumo por metro cuadrado, hallando el cociente entre la potencia consumida por las luminarias en el *Modo 2* (luminarias encendidas al 100% y “bañadores” apagados) y el área de cada salón en que fueron tomadas las mediciones.

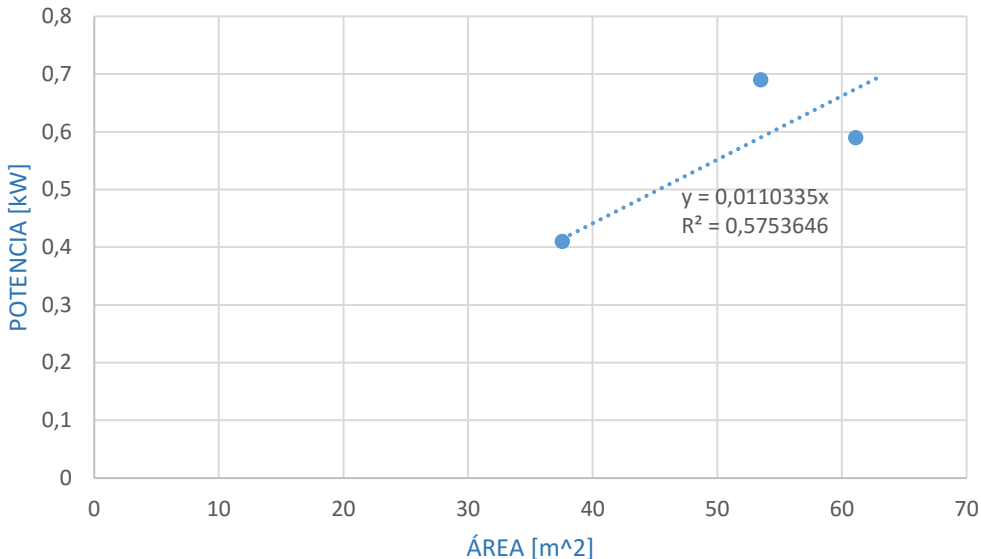
Los resultados obtenidos para cada salón, respecto a la potencia y el cociente de potencia/área se muestran en la *Tabla 15*

Tabla 15. Potencia e índice de potencia/área en cada salón.

Salón	Potencia consumida en el <i>Modo 2</i> [kW]	Índice de consumo por metro cuadrado [kW/m ²]
204	0,59	0,00965156
206	0,41	0,01091296
302	0,69	0,0128972

El promedio de los índices de consumo por metro cuadrado, tomando los 3 valores existentes, es de: **0,01690741 kW/m²**. Otra manera de encontrar este índice general, fue extrapolar la relación entre área y potencia consumida por las luminarias (ver *Figura 38*), encontrando así un índice de: **0,0110335 kW/m²**, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,5753646.

Figura 38. Relación entre área y potencia consumida por las luminarias.



7 CONCLUSIONES

Basados en el diseño, la implementación y las pruebas realizadas al sistema de monitorización en los tres salones (302, 204, 206) se puede concluir que:

- La etapa de adquisición de datos logró satisfactoriamente cumplir las expectativas del proyecto, es decir, obtuvo las medidas de las variables planteadas en un principio, dentro de los rangos esperados y suficientes para caracterizar un sistema de iluminación.
- La comunicación inalámbrica se estableció entre el módulo central y la tarjeta decodificadora *Multi Metering Manager* a través del protocolo *Zigbee* y entre el módulo central con el usuario a través de *WiFi*.
- El uso de una base de datos en *MySQL* añadió al sistema la posibilidad de acceder a los datos de una manera más ordenada, a pesar de la extensión de estos, y de lograr un vínculo con la Interfaz gráfica para visualizar los datos desde cualquier equipo conectado a la red.
- Los sensores de iluminancia ajustados con el coeficiente de 1.2 en el programa principal, presentan un comportamiento que dicta gran precisión respecto al luxómetro patrón, puesto que en la regresión lineal de la relación de los datos entre el sensor y el instrumento patrón se halla una pendiente de 1,0213 y un coeficiente de correlación de 0,9959.

- En el salón 302 del edificio de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones se consumen aproximadamente 0,22 kW de potencia con las luces encendidas al “33%” mientras se tiene un promedio de 436,4 Luxes. Con las luces encendidas al 100% se tiene un consumo aproximado de 0,69 kW, logrando un promedio de 1262,7 Luxes sobre la superficies de trabajo del estudiantado y un consumo aproximado de 0,72 kW la encender todas las luces del salón (luminarias al 100% y bañadores de luz encendidos).
- Bajo la condición de poco flujo de estudiantes en los salones utilizados para las mediciones, los sensores de iluminancia arrojaron los resultados esperados y permiten ajustar el la sensibilidad del sensor OSCxx-MOW instalado en los salones del edificio de IEET.
- La caracterización de los espacios de trabajo permitió dar a conocer los instantes en que las luminarias se encendieron mientras el salón se encontraba ocupado, dependiendo del nivel de iluminación, y de la misma manera determinar el consumo energético del sistema de iluminación automatizado.
- El sistema de monitorización logra sentar bases para una correcta configuración del sistema de iluminación automatizado presente en los salones del edificio de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, puesto que se visualizan los momentos en que la iluminancia por fuente natural (Sol), es suficiente para cumplir los requerimientos sugeridos por el RETILAP, y casos en los que las luminarias se encendieron mientras que el salón estaba ocupado y los sensores de iluminancia medían niveles adecuados; en algunos momentos de la tarde, la

iluminancia bajo del nivel mínimo establecido (300 Luxes) y se encendieron las luminarias tiempo después (esto no debe ocurrir en un sistema óptimo). Por lo tanto, se pueden detectar fallas en la implementación del sistema de iluminación automatizado, con la finalidad de repararlas y promover el uso racional de la energía.

- Se recomienda el uso de un módulo RTC(*Real Time Clock*) para la tarjeta *Raspberry Pi*, el cual mantiene la hora y fecha de la misma, a pesar de que exista desconexión de la fuente de alimentación.
- Se recomienda cargar la base de datos a la web a través de un servidor pago, con el fin de conectarse al módulo principal desde cualquier lugar, para configurarlo o acceder a la base de datos mediante la interfaz gráfica.
- Las mediciones tomadas por el sistema de monitorización no permitieron caracterizar el comportamiento del sistema de iluminación en condiciones normales de clases y de flujo de estudiantes, puesto que se implementó únicamente un sistema piloto y no se instaló en un período largo y sin supervisión.
- Se recomienda que para hallar un índice de consumo por metro cuadrado, se tomen medidas de potencia de más salones, para establecer si hay una relación real entre la potencia y el área del salón.
- Se recomienda realizar una estrategia cronológica para la caracterización del aula piloto, tomar las mediciones de las variables de interés durante más tiempo y de esta manera concluir con menos márgenes de error acerca del

comportamiento de las variables en diferentes condiciones climáticas y/o energéticas.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Finley, Jr., M. R., Karakura, A. , Nbogani, R. , ‘Survey of Intelligent Building Concept’, IEEE Communications Magazine, Abril, 1991, Páginas 18-23.”
- [2] I. Kirschning, “Tesis presentada para obtener el grado de "Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales,” Puebla, México, 1992.
- [3] “Hybrid Solar Lighting – the Future of Solar Lights.” [Online]. Available: <http://solarlightssite.com/hybrid-solar-lighting-the-future-of-solar-lights/>.
- [4] J. M. V. Mildred Arroyabe, “Monitoreo de gases contaminantes del aire a través de redes inalámbricas IEEE 802.5.4,” Universidad Industrial de Santander, 2013.
- [5] M. R. Á. Mercado, “Diseño de un sistema de telemetría inalámbrico para automatizar la lectura de consumos en los medidores de agua.,” Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [6] S. P. C. D. Biviana Ballesteros Corzo, “Aplicación web para la captura, monitoreo y análisis de datos transmitidos a través de redes de sensores inalámbricos utilizando tecnología Zigbee,” Universidad Industrial de Santander, 2008.
- [7] O. E. B. T. Angélica Maria Alarcón Santos, “Diseño e implementación de un sistema inalámbrico para la medición de temperatura diferencial corporal y saturación de oxígeno en la sangre.,” Universidad Industrial de Santander, 2012.

- [8] D. D. Murillo Díaz, "Desarrollo de una herramienta software para la visualización y almacenamiento de datos de la plataforma hardware IEEE 802.15.4 Xbee.," Universidad Industrial de Santander, 2009.
- [9] E. Y. Jácome Contreras and L. E. Muñoz Perez, "Diseño, implementación y caracterización de una red de sensores Zigbee para la monitorización de contadores de energía digitales en una red de distribución de baja tensión.," Universidad Industrial de Santander, 2009.
- [10] C. A. Forero Floréz and J. C. Álvarez Batista, "Medición de ángulos con tecnología Zigbee orientado a un servicio de rehabilitación biomecánica con el codo.," Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [11] O. Valle, "Monitoreo e indicadores," Instituto para el desarrollo y la innovación educativa." .
- [12] A. Jamalipour, N. Ansari, M. Howlader, and C. X. C. Xiao, "Wireless communications," *GLOBECOM '05. IEEE Glob. Telecommun. Conf. 2005.*, vol. 6, 2005.
- [13] M. A. Mendoza Quitiatez and V. E. Molina Yaguana, "Análisis, Diseño e implementación de un prototipo de monitoreo y control de humedad en la bodega ubicada en la ciudadela La Argelia mediante el uso de la tecnología Zigbee," Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [14] J. Dignani, "Análisis del protocolo ZigBee," 2012.
- [15] Mendez Delgado Gerardo, "Zigbee y sus aplicaciones en el monitoreo y control de procesos a distancia," San Luis Potosí, 2009.
- [16] "Características ZigBee." [Online]. Available: https://lucaes.files.wordpress.com/2009/11/documento_zigbe_develop.pdf.

- [17] "Introducción a los sistemas de medida. Tipos de sensores." [Online]. Available:
<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Tutorial/TECNO1.pdf>.
- [18] "Temporizadores y Sensores," 2011. [Online]. Available: <http://javier-temporizadores.blogspot.com.co/2011/03/sensores-fotoelectricos-un-sensor.html>.
- [19] "Hoja de datos sensor BH1750FVI." [Online]. Available:
<http://www.hpinfotech.ro/BH1750FVI.pdf>.
- [20] "Características Sensor OPT3001." [Online]. Available:
<http://www.digikey.com/es/product-highlight/t/texas-instruments/opt3001-ambient-light-sensor>.
- [21] "Hoja de datos sensor NIESSEN KNX." [Online]. Available:
https://library.e.abb.com/public/111116567e6278b0c1257ae8003812fe/6190_44_ES.pdf.
- [22] "Hoja de datos sensor LX1972." [Online]. Available:
<https://drive.google.com/file/d/0BzaKjvCRihgbcEZTWI81Unl2M3c/view?pli=1>.
- [23] "Hoja de datos sensor DRFRobot." [Online]. Available:
[http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/DFRobot_Ambient_Light_Sensor_\(SKU:DFR0026\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/DFRobot_Ambient_Light_Sensor_(SKU:DFR0026)).
- [24] G. D. BONILLA, "SENSORES DE PRESENCIA PARA CONTROL DE ILUMINACIÓN," UNIVERSIDAD VERACRUZANA, 2014.
- [25] "Bringing MySQL to the web." [Online]. Available:
<https://www.phpmyadmin.net/>.

- [26] "Sensor de presencia BTicino." [Online]. Available:
http://www.bticino.cr/catalogos/catalogo_lightingmanagement.pdf.
- [27] "Sensor de presencia Honeywell." [Online]. Available:
http://www.security.honeywell.com/clar/esp/documents/SRCEBKSP07_62-103_Sensors.pdf .
- [28] GLOLAB Corporation, "Pyroelectric Passive Infrared Sensor," 1999.
- [29] "PIR MOTION SENSOR - Sparkfun." [Online]. Available:
<https://www.sparkfun.com/products/13285>.
- [30] "Sensor Leviton OSCxx-MOW." [Online]. Available:
<http://communities.leviton.com/servlet/JiveServlet/previewBody/1267-102-1-1538/Data>.
- [31] "Características Arduino." [Online]. Available: www.arduino.cc.
- [32] R. Enríquez Herrador, "Guia usuario Arduino," 2009. [Online]. Available:
http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf.
- [33] "¿Qué es Raspberry Pi?" [Online]. Available:
<http://computerhoy.com/video/que-es-raspberry-pi-34037>.
- [34] "Características Raspberry Pi." [Online]. Available: www.raspberrypi.org.
- [35] S. M. Casco, "Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparación y Aplicaciones." Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.
- [36] "Características Beagle Board." [Online]. Available: <http://beagleboard.org/>.

- [37] "Módulo Xbee." [Online]. Available:
http://www.digi.com/pdf/ds_xbeedigimesh24.pdf.
- [38] "Comparación Módulos Xbee." [Online]. Available:
<http://xbee.cl/comparativa/>.
- [39] "Manual 4. Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes." INE (Instituto Nacional de Ecología), México, p. 76, 2010.
- [40] "Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público." Minisiterio de Minas y Energía de la República de Colombia, 2010.
- [41] "Características de un Luxómetro." [Online]. Available:
http://ludifisica.medellin.unal.edu.co/recursos/physicssensor/physyscs_sensor_celular/modulos/luxometro.pdf.
- [42] Amprobe, "LM-120 Light Meter with Auto Ranging." [Online]. Available:
<http://content.amprobe.com/DataSheets/LM-120 Light Meter.pdf>.
- [43] Anónimo, "C code (or python) to read out a BH1750FVI light sensor." [Online]. Available:
<https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=38023&p=443381> .
- [44] F. L. Simon G. Vogl, "librerías "linux/i2c-dev.h," 1997. [Online]. Available:
<http://lxr.free-electrons.com/source/include/linux/i2c-dev.c>.
- [45] F. L. Simon G. Vogl, "Libreria smbus.h." [Online]. Available: <http://lxr.free-electrons.com/source/include/linux/i2c-dev>.
- [46] O. E. H. Zuleta, "COMUNICACIÓN I2C PROTOTIPO BRAZO ROBÓTICO BM001," Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

- [47] A. M. Fernández.-Caparrós, “El bus I2C.” 2004.
- [48] F. D. D. C. R. VALENCIA, BLANCA GISELA DE LA PEÑA, “Elementos de Electrónica.” 2009.
- [49] “Licencia Lite para productos de Orcad.” [Online]. Available: http://www.orcad.com/sites/orcad/files/resources/files/OrCAD-Lite-Limits_0.pdf.
- [50] YTL, “Manual del producto Sub-metering, single-phase two-wire, 80A, Referencia: D119001-01.” [Online]. Available: <http://mall.ytlee.com/product/details/16>.
- [51] F. A. C. Herías, “Comunicación con RS-485 y MODBUS.” Universidad de Alicante.
- [52] G. Henderson, “wiringPi.” [Online]. Available: <http://raspi.tv/2013/how-to-use-wiringpi2-for-python-on-the-raspberry-pi-in-raspbian>.
- [53] “Lenguaje SQL.” [Online]. Available: <http://www.v-espino.com/~informatica/asi2/sghd/sql/SQL1.pdf>.
- [54] “Chapter 14 MySQL Client/Server Protocol.” [Online]. Available: <https://dev.mysql.com/doc/internals/en/client-server-protocol.html>.

BIBLIOGRAFÍA

ARROYABE BUENO, Mildred y MENDOZA VELANDIA, Jennifer. Monitoreo de sensores de gases cotaminantes del aire a través de redes inalámbricas IEEE 802.15.4.. Trabajo de grado Ingeniero de Sistemas. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas, 2013

CHAPARRO DURAN, Silvia Paola y BALLESTEROS CORZO, Biviana. Aplicación web para la captura, monitoreo y análisis de datos transmitidos a través de redes de sensores inalámbricos utilizando tecnología Zigbee. Trabajo de grado Ingeniero de Sistemas. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas, 2008

MUÑOZ PEREZ, Luis Eduardo y JÁCOME CONTRERAS, Erik Yair. Diseño, implementación y caracterización de una red de sensores zigbee para la monitorización de contadores de energía digitales en una red de distribución de baja tensión. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2009

MENDOZA QUITIAQUEZ, Marco Antonio y MOLINA YAGUANA, Veronica Elizabeth. Análisis, diseño e implementación de un prototipo de monitoreo y control de humedad en la bodega ubicada en la ciudadela La Argelia, mediante el uso de tecnología Zigbee. Trabajo de grado Ingeniero de Sistemas. Quito, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería de Sistemas- Sur, 2010.

MENDEZ DELGADO, Gerardo. Zigbee y sus aplicaciones en el monitoreo y control de procesos a distancia. Tesis. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Julio 2009.

KIRSCHNING, Ingrid. Edificios inteligentes. Tesis de grado Licenciatura en Ingeniería de Sistemas Computacionales. Puebla: México: Universidad de las Américas, Departamento de Ingeniería de Sistemas Computacioneas, Junio 1992.

ANEXOS

ANEXO A.DESARROLLO DE CÓDIGO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN PROVENIENTE DE LOS SENSORES DE ILUMINANCIA.

El desarrollo del código para la visualización de la información proveniente de los sensores se describe a continuación, detallando los párrafos más relevantes de este.

*// fuentes y referencias: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=63&t=38023> ;
<http://wiringpi.com/> ; <http://zetcode.com/db/mysqlc/>*

*/**

conexion:

VCC-5v (Raspberry pin 1)

GND-GND(Raspberry pin 6)

SCL-SCL(Raspberry pin 5)

SDA-SDA(Raspberry pin 3)

ADD-NC or GND

Este código es un compendio y edición que parte de diferentes fuentes y se encarga de:

establecer la comunicación I2C entre la Raspberry Pi y los sensores BH1750 y convertirlos datos de los sensores a luxes y almacenarlos en un archivo llamado logluxesN.txt

**/*

#include <stdio.h>

#include <stdint.h>

#include <fcntl.h>

#include <stdlib.h>

#include <string.h>

#include <unistd.h>

#include <math.h>

#include <linux/i2c-dev.h>

#include <linux/i2c.h>

#include <sys/ioctl.h>

```

#include "smbus.h"
#include <time.h>

#define BH1750FVI_I2C_ADDRESS 0x23 // ADDR > 0.7 VCC)
// #define BH1750FVI_I2C_ADDRESS2 0x5C // ADDR < 0.3 VCC)
#define DEBUG 0

#define PowerDown 0x00
#define PowerOn 0x01
#define Reset 0x07
#define ContinuHigh 0x10
#define ContinuLow 0x13
#define OneTimeHigh 0x20
#define OneTimeLow 0x23

int main(int argc, char **argv)
{
    int fd;
    char *fileName = "/dev/i2c-1";
    int retCode;
    int readSize;
    unsigned int res;
    unsigned int lux;
    char buf[5];
    int j;
    int i;
    char nombre[255];
    int xx=0;
    // Abre el puerto para lectura y escritura
    if ((fd = open(fileName, O_RDWR)) < 0)
    {
        printf("open error\n");
        exit(1);
    }
    // Establece las opciones del puerto y la direccion del dispositivo

```

```

if (ioctl(fd, I2C_SLAVE, BH1750FVI_I2C_ADDRESS) < 0) {
    printf("ioctl error\n");
    close(fd);
    exit(1);
}

//inicializa el sensor
retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, PowerOn);
if(DEBUG)printf("Power On retCode=%d\n",retCode);
if (retCode < 0) {
    printf("PowerOn error\n");
    close(fd);
    exit(1);
}

//entra en el modo continuous high del sensor
retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, ContinuHigh);
if(DEBUG)printf("ContinuHigh retCode=%d\n",retCode);
if (retCode < 0) {
    printf("ContinuHigh error\n");
    close(fd);
    exit(1);
}

for(j=0;j>=0;j++)
{
time_t now;
time(&now);
sprintf(nombre,"logluxes%d.txt",xx);//forma de crear un archivo de texto con nombre dinámico, en
este caso después de...

//...5 muestras crea un nuevo archivo de texto con un sufijo numerico
consecutivo.
for(i=0;i<5;i++)

{

FILE *log;
log = fopen(nombre,"a");//logger
sleep(2);
readSize = read (fd, buf, 2);//lee el puerto

```

```
if(DEBUG)printf("read readSize=%d %x %x\n",readSize,buf[0],buf[1]);

    res = buf[0]*256+buf[1];//medida que llega del sensor
if(DEBUG)printf("res=%x\n",res);
    lux = res / 1.2;//medida ajustada con un cociente (ver hoja de datos)
printf("%s Lux=%d\n",ctime(&now),lux);

if (log != NULL)
{
    fprintf(log,"%s Lux=%d\n",ctime(&now),lux);
}
else
{
    printf("Error archivo log\n");
}

    fclose(log);
}

xx=xx+1;
}

retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, PowerDown);
close(fd);

exit (0);
}
```

ANEXO B.DESCRIPCIÓN DEL CODIGO EN LENGUAJE C PARA LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACION DEL MEDIDOR MONOFÁSICO (COMUNICACIÓN SERIAL CON XBEE).

*/*Este código es un compendio y edición que parte de diferentes fuentes y se encarga de:
establecer la comunicación I2C entre la Raspberry Pi y los sensores BH1750 y convertir los datos
de los sensores
a luxes y almacenarlos en un archivo llamado logluxesN.txt
fuentes y referencias: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=63&t=38023> ;
<http://wiringpi.com/> ; <http://zetcode.com/db/mysqlc/> ;
http://www.airspayce.com/mikem/bcm2835/group__constants.html*

**/*

```
#include <stdint.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <wiringSerial.h>
```

```
#include <wiringPi.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
#include <errno.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
void monofasico() {
```

```
char x;
```

```
char *buffer;
```

```
int xbee;
```

```
char measure[128];
```

```
char medidor[16];
```

```
char energact[16], energreac[16], potact[16], potreac[16], tension[16], corriente[16], frec[16], pf[16];
```

```
int medidor2;
```

```
size_t lect;
```

```
xbee = serialOpen("/dev/ttyAMA0", 9600);
```


ANEXO C. DESARROLLO DEL CÓDIGO EN LENGUAJE C PARA LA VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN PROVENIENTE DEL SENSOR DE OCUPACIÓN.

*/*Este código es un compendio y edición que parte de diferentes fuentes y se encarga de:
establecer la comunicación I2C entre la Raspberry Pi y los sensores BH1750 y convertir los datos
de los sensores*

a luxes y almacenarlos en un archivo llamado logluxesN.txt

*fuentes y referencias: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=63&t=38023> ;
<http://wiringpi.com/> ; <http://zetcode.com/db/mysqlc/>*

*fuerza principal: *http://www.airspayce.com/mikem/bcm2835/group__constants.html*

**/*

```
#include <bcm2835.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include <time.h>
```

```
#define SENSOR RPI_GPIO_P1_07 //pin de entrada de la tarjeta
```

```
#define ACTIVE_VALUE 1
```

```
int main(int argc, char **argv)
```

```
{
```

```
if (!bcm2835_init()) {
```

```
printf("Please run this with sudo\n");
```

```
return EXIT_FAILURE;
```

```
}
```

```
bcm2835_gpio_fsel(SENSOR, BCM2835_GPIO_FSEL_INPT); //SENSOR as input
```

```
bcm2835_gpio_fsel(LED, BCM2835_GPIO_FSEL_OUTP); //LED as output
```

```
bcm2835_gpio_set_pud(SENSOR, BCM2835_GPIO_PUD_UP);
```

```
uint8_t state = ACTIVE_VALUE; //Inicia en estado alto
```

```
while (1) {  
state = bcm2835_gpio_lev(SENSOR); //alto o bajo?  
if(state != ACTIVE_VALUE)  
{  
    //Sensor off  
}  
else  
{  
    printf("Movement at %d\n", (int)time(NULL)); //detecta movimiento e imprime una salida  
  
    sleep(2);  
  
}  
}  
bcm2835_close();  
return EXIT_SUCCESS;  
}  
#undef SENSOR  
#undef LED  
#undef ACTIVE_VALUE
```

ANEXO D.DESARROLLO DEL CÓDIGO EN LENGUAJE C DEL PROGRAMA PRINCIPAL FINAL (INCLUYE LA MANERA DE SUBIR LOS DATOS A MYSQL).

```
//El siguiente código es un compendio y edición que parte de diferentes fuentes y se encarga de:  
//*realizar la medición de luxes en 2 sensores bh1750 con comunicación I2C  
//*encuestar a la Tarjeta de recolección de datos Multi Metering Manager desarrollada por la UIS y la  
ESSA para interoperar los medidores monofásicos TTY, separar las variables y almacenarlas para  
luego...  
//*enviar los datos anteriores a una base de datos MySQL  
//fuentes y referencias: https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=63&t=38023 ;  
http://wiringpi.com/ ; http://zetcode.com/db/mysqlc/  
//Daniel Mantilla
```

```
#include <stdio.h>  
#include <stdint.h>  
#include <fcntl.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <string.h>  
#include <unistd.h>  
#include <math.h>  
#include <linux/i2c-dev.h>  
#include <linux/i2c.h>  
#include <sys/ioctl.h>  
#include "smbus.h"  
#include <my_global.h>  
#include <mysql.h>  
#include <time.h>  
#include <wiringSerial.h>  
#include <wiringPi.h>  
#include <errno.h>  
#include <bcm2835.h>  
  
#define BH1750FVI_I2C_ADDRESS 0x23 // ADDR > 0.7 VCC)  
#define BH1750FVI_I2C_ADDRESS2 0x5C // ADDR < 0.3 VCC)  
#define DEBUG 0
```

```
#define PowerDown  0x00
#define PowerOn    0x01
#define Reset      0x07
#define ContinuHigh 0x10
#define ContinuLow  0x13
#define OneTimeHigh 0x20
#define OneTimeLow  0x23
#define SENSOR RPI_GPIO_P1_07
#define ACTIVE_VALUE 1
```

```
double energact2, energreac2, potact2, potreac2, tension2, corriente2, frec2, pf2;
```

```
void finish_with_error(MYSQL *con)
```

```
{
    fprintf(stderr, "%s\n", mysql_error(con));
    mysql_close(con);
    exit(1);
}
```

```
//COMUNICACION SERIAL POR XBEE CON EL MEDIDOR MONOFASICO
```

```
void monofasico() {
```

```
char x;
```

```
char *buffer;
```

```
int xbee;
```

```
char measure[128];
```

```
char medidor[16];
```

```
char energact[16], energreac[16], potact[16], potreac[16], tension[16], corriente[16], frec[16], pf[16];
```

```
int medidor2;
```

```
size_t lect;
```

```
xbee = serialOpen("/dev/ttyAMA0", 9600);
```

```
long lsize;
```

```
serialPrintf(xbee, "M:1\r");//ENCUESTA AL MEDIDOR (1) CONECTADO A LA M3
```

```
FILE *datosxbee;
```

```
datosxbee = fopen("logxbee.txt", "w+");
```

```
for(;;)
```



```

int main(int argc, char **argv)
{
int fd;
char *fileName = "/dev/i2c-1";
int retCode;
int readSize;
unsigned int res, res2;
unsigned int lux, lux2;
char buf[5];
char buf1[5];
int i;
char statement[512], statement2[512], statement3[512], statement4[512];
int presencia, ocupancia;

MYSQL *con = mysql_init(NULL);

if (con == NULL)
{
fprintf(stderr, "%s\n", mysql_error(con));
exit(1);
}

if (mysql_real_connect(con, "localhost", "root", "123456789", //Conexion con la base de datos
"sensores" con usuario y contraseña
"sensores", 0, NULL, 0) == NULL)
{
finish_with_error(con);
}

//Comandos para crear o abrir las tablas de la base de datos con las diferentes columnas y sus tipos
de variables

if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS Luxes(Sensor TEXT, Hora DATETIME,
Datos FLOAT, Unidades TEXT)")) {
finish_with_error(con);
}

if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS EnergiaActiva(Sensor TEXT, Hora

```

```

DATETIME, Datos FLOAT, Unidades TEXT")) {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS Corriente(Sensor TEXT, Hora DATETIME,
Datos FLOAT, Unidades TEXT)") {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS PotenciaActiva(Sensor TEXT, Hora
DATETIME, Datos FLOAT, Unidades TEXT)") {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS PotenciaReactiva(Sensor TEXT, Hora
DATETIME, Datos FLOAT, Unidades TEXT)") {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS Tension(Sensor TEXT, Hora DATETIME,
Datos FLOAT, Unidades TEXT)") {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS Frecuencia(Sensor TEXT, Hora
DATETIME, Datos FLOAT, Unidades TEXT)") {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS Factordepotencia(Sensor TEXT, Hora
DATETIME, Datos FLOAT)") {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS EnergiaReactiva(Sensor TEXT, Hora
DATETIME, Datos FLOAT, Unidades TEXT)") {
    finish_with_error(con);
}
if (mysql_query(con, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS Ocupancia(Sensor TEXT, Hora DATETIME,
Datos INT)") {
    finish_with_error(con);
}
// SENSORES DE ILUMINANCIA
if (!bcm2835_init()) {
    printf("Please run this with sudo\n");
}

```

```

return EXIT_FAILURE;
}

bcm2835_gpio_fsel(SENSOR, BCM2835_GPIO_FSEL_INPT); //SENSOR as input
bcm2835_gpio_set_pud(SENSOR, BCM2835_GPIO_PUD_UP);
presencia = ACTIVE_VALUE; //Init state to HIGH

for(;;)
{
time_t now;
time(&now);
if ((fd = open(fileName, O_RDWR)) < 0) {
printf("open error\n");
exit(1);
}

if (ioctl(fd, I2C_SLAVE, BH1750FVI_I2C_ADDRESS) < 0) {
printf("ioctl error\n");
close(fd);
exit(1);
}

retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, PowerOn);
if(DEBUG)printf("Power On retCode=%d\n",retCode);
if (retCode < 0) {
printf("PowerOn error\n");
close(fd);
exit(1);
}

retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, ContinuHigh);
if(DEBUG)printf("ContinuHigh retCode=%d\n",retCode);
if (retCode < 0) {
printf("ContinuHigh error\n");
}
}

```

```
close(fd);
exit(1);
}

sleep(2);
readSize = read (fd, buf, 2);
if(DEBUG)printf("read readSize=%d %x %x\n",readSize,buf[0],buf[1]);

res = buf[0]*256+buf[1];
if(DEBUG)printf("res=%x\n",res);
lux = (res - 16) *3 / 1.2;
```

//encuestar al segundo sensor

```
if ((fd = open(fileName, O_RDWR)) < 0) {
printf("open error\n");
exit(1);
}
if (ioctl(fd, I2C_SLAVE, BH1750FVI_I2C_ADDRESS2) < 0) {
printf("ioctl error\n");
close(fd);
exit(1);
}

retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, PowerOn);
if(DEBUG)printf("Power On retCode=%d\n",retCode);
if (retCode < 0) {
printf("PowerOn error\n");
close(fd);
exit(1);
}

retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, ContinuHigh);
if(DEBUG)printf("ContinuHigh retCode=%d\n",retCode);
if (retCode < 0) {
```

```

    printf("ContinuHigh error\n");
close(fd);
exit(1);
}
sleep(2);
readSize = read (fd, buf1, 2);
if(DEBUG)printf("read readSize=%d %x %x\n",readSize,buf1[0],buf1[1]);

res2 = buf1[0]*256+buf1[1];
if(DEBUG)printf("res=%x\n",res2);
lux2 = res2 / 1.2;

```

//OCUPACION

```

presencia = bcm2835_gpio_lev(SENSOR);
    if(presencia != ACTIVE_VALUE)
    {
        printf("no hay ocupancia\n");
        ocupancia = 0;
    }
    else
    {
        printf("Hay ocupancia \n");
        ocupancia = 1;
    }
monofasico();

```

//FORMA DE INCLUIR VARIABLES DE C EN LAS TABLAS DE LA BASE DE DATOS

```

printf("Lux sensor 1= %d, Lux sensor 2=%d, %s",lux,lux2,ctime(&now));
snprintf(statement, 512, "INSERT INTO Luxes VALUES ('lux1', now(),%d, 'lx')",lux);
if (mysql_query(con, statement)) {
finish_with_error(con);
}
snprintf(statement, 512, "INSERT INTO Luxes VALUES ('lux2', now(),%d, 'lx')",lux2);
if (mysql_query(con, statement)) {
finish_with_error(con);
}
}

```

```

        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO Corriente VALUES ('Corriente',
now(),%f,'A')",corriente2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }
        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO PotenciaActiva VALUES ('Potencia Activa',
now(),%f,'kW')",potact2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }
        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO Tension VALUES ('Tension', now(),%f,'V')",tension2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }
        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO PotenciaReactiva VALUES ('Potencia Reactiva',
now(),%f,'kVAR')",potreac2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }
        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO Frecuencia VALUES ('Frecuencia', now(),%f,'Hz')",frec2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }
        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO Factordepotencia VALUES ('Factor de Potencia',
now(),%f)",pf2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }
        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO EnergiaActiva VALUES ('Energia Activa',
now(),%f,'kWh')",energact2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }
        snprintf(statement, 512, "INSERT INTO EnergiaReactiva VALUES ('Energia Reactiva',
now(),%f,'kVARh')",energreact2);
        if (mysql_query(con, statement)) {
            finish_with_error(con);
        }

```

```
    }
    snprintf(statement, 512, "INSERT INTO Ocupancia VALUES ('Ocupancia', now(),%d)",ocupancia);
    if (mysql_query(con, statement)) {
        finish_with_error(con);
    }
    sleep(105);
}
retCode=i2c_smbus_write_byte(fd,PowerDown);

if (ioctl(fd, I2C_SLAVE, BH1750FVI_I2C_ADDRESS) < 0) {
    printf("ioctl error\n");
    close(fd);
    exit(1);
}
retCode=i2c_smbus_write_byte(fd, PowerDown);
close(fd);
mysql_close(con);
exit (0);
}
```

ANEXO E.TABLA COMPARATIVA DEL MÓDULO XBEE CONTRA EL MÓDULO XBEE PRO 2.4.

En la siguiente tabla se presentan las comparaciones del módulo Xbee contra el Xbee pro 2.4 en términos de potencia, rango de acción, y velocidad de transmisión.[37]

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban range	Up to 100 ft. (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft. (60 m) international variant
Outdoor RF line of sight range	Up to 300 ft. (90 m)	Up to 1 mile (1.5 km), w/ 2.0 dB dipole antenna Up to 6 miles (10 km) w/ high gain antenna
Transmit power output	1 mW (0 dBm)	63 mW (18 dBm)* 10 mW (10 dBm) for international variant
RF data rate	250 kb/s	250 kb/s
Serial interface data rate (software selectable)	1200 bps - 250 kb/s (non-standard baud rates also supported)	1200 bps-250 kb/s (non-standard baud rates also supported)
Receiver sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power requirements		
Supply voltage	2.8 - 3.4 VDC	2.8 - 3.4 VDC
Transmit current	45 mA (@ 3.3 V)	250 mA (@ 3.3 V) (150 mA for international variant) RPSMA module only: 340 mA (@ 3.3 V) (180 mA for international variant)

ANEXO F.TABLAS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS CON LOS SENSORES DE ILUMINANCIA BH1750FV Y EL LUXÓMETRO EN DIFERENTES CONDICIONES DE ILUMINACIÓN.

En la *Tabla F.1* y en la *Tabla F.2* se exponen los datos tomados para el ajuste de los sensores de iluminancia expuestos a diferentes condiciones de luz.

Tabla F.1 Comparación de los datos del sensor y el luxómetro expuestos a luz artificial.

Luz Artificial	
sensor (lux)	Luxómetro(Lux)
63	35
216	272
353	391
333	397
379	416
402	422
406	431
394	433
377	437
408	452
466	542
499	590
500	590
522	596
522	597
523	597
523	597
680	760
683	762
688	769
700	781
1250	1352
2201	2260

Tabla F.2 Comparación de los datos del sensor y el luxómetro expuestos a luz natural.

luz Natural	
Nuestro sensor (lux)	Luxómetro (Lux)
73	77
106	111
106	114
127	130
133	142
180	188
185	197
240	255
245	265
245	255
355	408
435	436
450	436
450	440
503	508
505	515
505	513
668	669
763	791
796	813
3996	3850
4478	4430
12530	12070
13730	13150

ANEXO G.. EJEMPLO DE LA BASE DE DATOS UTILIZANDO PHPMYADMIN.

En la *Figura G.1* se muestra la base de datos desarrollada para la interfaz gráfica, se aprecia las pestañas de cada variable de interés.

Figura G.1. Base de datos utilizando PHPMYADMIN

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database. On the left, there is a sidebar with a list of variables: Corriente, EnergiaActiva, EnergiaReactiva, Factordepotencia, Frecuencia, Luxes, PotenciaActiva, PotenciaReactiva, and Tension. Below this list is a button labeled 'Crear tabla'. The main content area displays a table with the following columns: Sensor, Hora, Datos, and Unidades. The table contains 20 rows of data, all with a 'Datos' value of 0. Each row has four action buttons: 'Editar', 'Editar en línea', 'Copiar', and 'Borrar'. Above the table, there are navigation controls including 'Número de página: 4', 'Mostrar: 30', 'fila(s) iniciando en la fila # 120', and 'en modo horizontal'. At the bottom, there are additional controls for 'Marcar todos / Desmarcar todos' and 'Para los elementos que están marcados: Cambiar, Borrar'.

	Sensor	Hora	Datos	Unidades
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 18:41:16	0	
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 18:41:55	0	
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 18:42:35	0	
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 18:43:15	0	
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:13:50	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:14:29	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:15:09	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:15:48	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:16:28	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:17:08	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:17:47	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:18:27	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:19:06	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:19:46	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:20:26	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:21:05	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:21:45	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:22:25	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:23:05	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:23:44	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:24:24	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:25:03	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:25:43	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:26:23	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:27:02	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:27:42	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:28:21	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:29:01	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:29:41	0	A
<input type="checkbox"/>	Corriente	2016-03-28 20:30:20	0	A

ANEXO H.TABLA DE COMANDOS JAVA PARA LA CREACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA.

En la siguiente tabla se presentan, ligeramente, las funciones y los comandos utilizados en la programación de cada uno de los componentes descritos para la interfaz gráfica, en las tablas 1 y 2 se describen los elementos primarios de cada una de las clases principales para generar la interfaz de inicio de sesión y la conexión e autenticación con la base de datos.

Clase	Componente (Nombre del componente)	Método	Clases que utiliza	Descripción
Logueo	Panel Principal (JPanel1)	Main	NA	Hace visible la ventana de inicio de sesión y llama al método constructor (Logueo).
		Logueo	NA	Es el método constructor y llama al método initComponents.

		InitComponents (Inicializa componentes)	Swing AWT GroupLayout	Asigna el nombre, valores y dimensiones a cada uno de los componentes de la GUI y los coloca en sus lugares correspondientes.
	Botón "Aceptar" (JButton1)	Button1ActionPerformed	NA	Asigna valores a variables globales correspondientes al usuario y la contraseña, si la información es correcta al pulsarlo deja acceder al panel principal de la aplicación

Tabla 1. Funciones y comandos utilizados para la implementación del inicio de sesión en la interfaz gráfica.

Clase	Componente (Nombre del componente)	Método	Clases que utiliza	Descripción
-------	---------------------------------------	--------	--------------------	-------------

ConectarBD (Clase interna)	NA	Class.forName	NA	Llama al driver de conexión (mysql-connector-java-5.1.24-bin.jar) apenas se ejecute el programa.
	NA	DriverManager.getConnection	NA	Método que nos permite establecer una conexión con la base de datos, mediante un usuario y una contraseña

Tabla 2. Funciones y comandos utilizados para la implementación de la conexión en la interfaz gráfica.

Clase	Componente	Método	Clases que utiliza	Descripción
Pantalla principal	Panel Principal (JPanel #)	Main	NA	Hace visible la el panel principal y llama al método constructor (PantallaPrincipal).

		Pantallaprincipal	NA	Es el método constructor y llama al método initComponents ().
		InitComponents (Inicializa componentes)	Swing AWT GroupLayout	Asigna el nombre, valores y dimensiones a cada uno de los componentes de la GUI y los coloca en sus lugares correspondientes.
		Button#ActionPerformed	NA	Genera una tabla en pantalla mediante el llamado del método mostrartabla ().
	Botón "Aceptar" (JButton#)	mostrartabla()	JOptionPane.showMes sageDialog	Muestra una advertencia en una ventana emergente.
			SimpleDateFormat	Genera las fechas en un formato deseado
			DefaultTableModel	Herramienta que permite dibujar tablas.
			SQL	Genera una búsqueda en una base de datos.
	(JButton#)	JFrame	NA	Genera una nueva ventana

		JDBCCategoryDataset	NA	Organiza los datos para ser graficados.
		JFreeChart	NA	Genera gráficas, pudiendo elegir entre los distintos tipos disponibles.
		repaint()	NA	Permite redibujar gráficos, actualizando su información.

ANEXO I.CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES.

En el proceso de medición de cualquier magnitud es indispensable conocer la diferencia entre el valor medido y el valor real de la magnitud, según la norma CONVENIN 2552 año 1999 se define la incertidumbre como un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando^{††}. De la misma manera se definen las principales fuentes de error en las mediciones:

- Límite en la resolución del instrumento de medida
- Desviaciones personales en la lectura de instrumentos analógicos
- Valores inexactos de los patrones y materiales de referencia utilizados
- Aproximaciones e hipótesis incorporadas en el método y el procedimiento
- Basados en la definición de incertidumbre tipo A, donde la medida de una magnitud puede ser repetida reiteradamente se aplica la siguiente formula:

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde n es el número de datos, \bar{x} es el valor medio. De acuerdo con los datos obtenidos para cada variable de interés (corriente, tensión, nivel de iluminancia, potencia activa) se obtiene la incertidumbre de las mediciones, seleccionando franjas de datos con tendencias parecidas.

^{††} Definición extraída de: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2552-99.pdf>

A continuación se presenta el cálculo de la incertidumbre de las medidas para la corriente del día 13 de abril de 2013.

Se debe calcular la desviación estándar de los datos, para dicho cálculo se toman 20 datos con tendencias similares. Seguidamente se muestran los datos seleccionados para este cálculo.

De esta manera la desviación estándar será:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 1,8635 ; n = 20$

Así: $\sigma = 0,02906$; aplicando la fórmula 1 tenemos que:

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{20}} * 0,02906 = 0,0065$$

Salón 302

Variable	Incertidumbre	Clase	Resolución	Total
----------	---------------	-------	------------	-------

Corriente	0,0065	0,01	0,01	0,01556438
Tensión	0,310593659	0,01	0,01	0,31091546
Potencia Activa	0,020964883	0,01	0,01	0,02528886

Salón 206

Variable	Incertidumbre	Clase	Resolución	Total
Corriente	0,003026201	0,01	0,01	0,01446229
Tensión	0,014689774	0,01	0,01	0,02039092
Potencia Activa	0,020964883	0,01	0,01	0,02528886

Salón 204

Variable	Incertidumbre	Clase	Resolución	Total
-----------------	----------------------	--------------	-------------------	--------------

Corriente	0,006294317	0,01	0,01	0,01547961
Tensión	0,335088362	0,01	0,01	0,33538666
Potencia Activa	0,009826789	0,01	0,01	0,01722109