

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN  
AUTOMATIZADO PARA EL HOGAR USANDO TECNOLOGÍA ZIGBEE Y  
CONTROLADO INALÁMBRICAMENTE DESDE UN SERVIDOR WEB**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**Daniel Francisco Lanao Sánchez**

Asesor: Jorge Benavides Aspiazu

Lima, 2015

## RESUMEN

El objetivo de la presente tesis consiste en diseñar y desarrollar un sistema de iluminación automatizado y que pueda ser controlado desde un dispositivo móvil que permita administrar mejor la energía eléctrica dedicada a la iluminación del hogar.

Para llegar a este objetivo, se optó por usar el protocolo de comunicación Zigbee para poder comunicar inalámbricamente las distintas partes del sistema. Para la interfaz de usuario, se usó diseño web utilizando lenguajes PHP y librerías de Jquery Mobile; para el manejo de base de datos se usó MySQL y para el programa que se ejecuta en el servidor se utilizó el lenguaje de programación JAVA.

Se llegó a la conclusión de que se pudo cumplir satisfactoriamente el desarrollo del sistema automatizado controlable desde la aplicación web, con un tiempo de respuesta aceptable, con algoritmos que toman en consideración niveles de iluminación y presencia y con una interfaz de usuario moderna y eficaz.

También se pudo observar que este el sistema tiene varios aspectos por mejorar para poder llegar a tener un sistema de nivel comercial.

## ÍNDICE

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>CAPÍTULO 1: ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN</b>	5
1.1 Proceso Actual	5
1.2 Declaración del marco problemático	6
<b>CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS ACTUALES PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN</b>	7
2.1 Estado del arte	7
2.1.1 Presentación del asunto de estudio	7
2.1.2 Estado de investigación	7
2.1.3 Síntesis sobre el asunto de estudio	10
2.2 Conceptualizaciones generales	10
2.2.1 Edificio Inteligente	10
2.2.2 Sistema de Control	11
2.2.3 Modos de control de Iluminación	12
2.2.4 Red domótica	12
2.2.5 Sistema de iluminación automatizado	12
2.2.6 Aplicación web	12
2.3 Modelo teórico	13
2.4 Definiciones operativas	14
<b>CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>	15
3.1 Hipótesis de la investigación	15
3.1.1 Hipótesis principal	15
3.1.2 Hipótesis secundarias	15
3.2 Objetivos de la investigación	16
3.2.1 Objetivo principal	16
3.2.2 Objetivo específicos	16
3.3 Universo y Muestra	16
3.4 Distribución Actual de las luminarias	17
3.4.1 Estudio	17
3.4.2 Sala	18
3.5 Cálculo para un óptimo alumbramiento	19
3.6 Comunicación inalámbrica	20
3.6.1 Módulos RF Xbee	20
<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>	22
4.1 Consideraciones preliminares	22
4.2 Desarrollo del circuito controlador	24
4.3 Desarrollo del circuito coordinador	27
4.4 Desarrollo del circuito sensor de presencia y de luz	28
4.5 Programación de componentes	28
4.5.1 Desarrollo de la aplicación web	28
4.5.2 Programación de los microprocesadores	32
4.5.3 Configuración de los XBEE	33
4.6 Configuración de las luminarias	34
4.7 Programa en el servidor local	35
4.8 Pruebas realizadas.	36
4.8.1 Conectividad de los módulos XBEE para las distintas habitaciones	36
4.8.2 Conectividad con la base de datos MYSQL	37
4.8.3 Envío automático de datos desde el servidor al circuito controlador utilizando la comunicación serial y los módulos XBEE	37
4.8.4 Medición de tiempo de respuesta a acciones determinadas	37
Conclusiones y Recomendaciones	39
Fuentes	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Modelo teórico del sistema de iluminación automatizado	14
Figura 2: Imagen actual del estudio	17
Figura 3: Imagen actual de la sala	17
Figura 4: Distribución actual de las luminarias en el estudio	18
Figura 5: Distribución actual de las luminarias en la sala	18
Figura 6: Modulos RF Xbee Series 2 International a utilizar	21
Figura 7: Diseño de los controladores manuales de iluminación para el estudio	22
Figura 8: Diseño de los controladores manuales de iluminación para la sala	22
Figura 9: Sectores de iluminación de la sala	23
Figura 10: Diagrama de bloques de los circuitos a realizar	23
Figura 11: Diagrama del circuito controlador (parte 1), Microprocesador y pulsadores.	24
Figura 12: Diagrama del circuito controlador (parte 2), Xbee , pines de entrada y regulador de 3.3V	25
Figura 13: Diagrama del circuito controlador (parte3), detector cruce por 0	25
Figura 14: Circuito controlador fabricado	26
Figura 15: Diagrama del circuito coordinador del XBEE	27
Figura 16: Circuito coordinador XBEE fabricado	27
Figura 17: Circuito sensor de presencia y de luz fabricado	28
Figura 18: Interfaz inicial: inicio de sesión	29
Figura 19: Interfaz inicial: menú principal	29
Figura 20: Interfaz usuario: menú secundario	29
Figura 21: Interfaz usuario: selección del modo de operación	29
Figura 22: Interfaz usuario: Control de tiempo real del estudio	30
Figura 23: Interfaz usuario: Control de tiempo real de la sala	30
Figura 24: Interfaz usuario: Programación y tabla de horarios (A)	31
Figura 25: Interfaz usuario: Programación y tabla de horarios (B)	31
Figura 26: Interfaz usuario: Programación y tabla de horarios (C)	31
Figura 27: Algoritmo del ATEMEGA88PA para el circuito controlador	32
Figura 28: Algoritmo del ATEMEGA88PA para el circuito sensor de iluminación y el sensor de presencia	33
Figura 29: Configuración de los XBEE	33
Figura 30: Luminaria a utilizar	34
Figura 31: Esbozos de donde se van a ser colocados las luminarias.	35
Figura 32: Algoritmo del programa en el servidor	35
Figura 33: Comprobación de conectividad entre el servidor y los módulos Xbee	36
Figura 34: Comprobación de conectividad con la base de datos Mysql	37

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Cuadro comparativo de sistema centralizado y distribuido	8
Tabla 2: Cálculo del flujo luminoso requerido	19
Tabla 3: Comparación entre Xbee Serie 1, Xbee Serie 2, Xbee PRO	21
Tabla 4: Valores obtenidos en el capítulo 2	34
Tabla 5: Medición de tiempos de respuesta	38

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú la gran mayoría de los sistemas de iluminación de los domicilios, oficinas e industrias tienen un funcionamiento mecánico y presencial, es decir, se controlan mediante un interruptor ubicado en el mismo ambiente de las luminarias y son manipulados con el contacto directo de las personas. Esto provoca que en algunos casos, se tengan luminarias encendidas innecesariamente, y también una reducción en el confort para los usuarios debido a que deben ubicarse en los interruptores para apagar las luminarias.

Dado que no se encuentra implementado en la gran mayoría de los casos un sistema de iluminación automatizado que permita tener un control sobre la iluminación de las viviendas y de los centros de trabajo, ocasionando continuamente pérdidas innecesarias de energía e incomodidades para los usuarios, entonces un sistema de control inalámbrico de iluminación automatizado utilizando tecnología inalámbrica Zigbee y con la capacidad de poder ser controlado y programable mediante un dispositivo móvil, permitirá tener un mejor control de la iluminación, de esta forma se podría administrar mejor la energía eléctrica utilizada en la iluminación y también incrementar el confort para los usuarios.

El objetivo de esta investigación consiste en el diseño y desarrollo del control inalámbrico de un sistema de iluminación en donde se pueda regular la iluminación desde un dispositivo móvil permitiendo controlar de forma sencilla y eficaz la iluminación de las habitaciones y así brindar un mayor confort al usuario.

## CAPÍTULO 1: ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

### 1.1 Proceso Actual:

Actualmente el proceso de la regulación de la iluminación consiste en que los usuarios deben ubicarse en el ambiente donde se encuentran los interruptores de las luminarias para poder controlarlas, normalmente los interruptores se encuentran en el mismo ambiente donde se encuentran las luminarias.

Luego, si al usuario le parece pertinente cambiar la iluminación ya sea ésta reducida o abundante, debe interactuar nuevamente con el interruptor.

Deficiencias y consecuencias del proceso actual:

- a. El manejo de las luminarias del hogar es mecánico, es decir, es necesario que una persona interactúe con los interruptores del mismo ambiente donde se desea variar la iluminación, provocando una labor tediosa si el usuario requiere apagar o prender varias luminarias de varios ambientes al mismo tiempo.
- b. La iluminación puede ser inadecuada, debido a que el proceso es manual, y este se basa en prueba y error, en muchos casos la iluminación seleccionada es inadecuada. Ocasionando que los usuarios estén realizando sus actividades de forma incomoda y también podría ocasionar un uso de energía innecesaria al tener una iluminación abundante para una actividad que requiera menos.
- c. Como es necesario ir al ambiente donde están las luminarias para poder apagarlas, muchas veces por descuido, estas luminarias se encuentren encendidas por un largo periodo sin que ningún usuario se encuentre en el ambiente.
- d. En algunos hogares por motivos de seguridad, existe la costumbre de dejar luces prendidas si todos los miembros de la familia salen del hogar, esto provoca un uso excesivo de energía si la familia se va de viaje.

## 1.2 Declaración del marco problemático

Actualmente existen políticas mundiales y nacionales que buscan la preservación del medio ambiente frente al calentamiento global, para esto se buscan nuevas formas para administrar mejor la energía y su uso.

En el caso de la iluminación, actualmente en el Perú los sistemas de iluminación de los domicilios, oficinas e industrias tienen un funcionamiento mecánico y presencial, es decir es controlado por un usuario y en el mismo ambiente donde se encuentran las luminarias, este proceso provoca que existan problemas en administración de esta energía.

Un primer problema puede ser que la iluminación sea inadecuadamente seleccionada, en el caso de que esta sea escasa, provocaría un mal ambiente de trabajo para las actividades del usuario ocasionando una incomodidad para este. En el caso que exista una iluminación abundante, provocaría que exista un uso innecesario de energía.

Por otro lado existe el problema de comodidad, al tener un sistema mecánico basado en interruptores que obligan al usuario ir constantemente al lugar donde estos interruptores se encuentran para poder regular la iluminación, ocasionando eventualmente por descuido de los usuarios que las luminarias constantemente estén encendidas innecesariamente provocando un desperdicio de energía.

## CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS ACTUALES PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

### 2.1 Estado del arte

#### 2.1.1 Presentación del asunto de estudio.

Actualmente se busca nuevas formas para poder administrar mejor y de manera más eficiente la energía eléctrica, esto permite tener un menor costo de su consumo y transmisión, como también aportar al medio ambiente al reducir una gran cantidad de energía excedente que no se utiliza.

Una gran parte de la energía eléctrica está destinada a la iluminación (aprox 40% en Latinoamérica) [1], y por lo tanto una forma de poder administrar mejor esta energía es utilizando sistemas inteligentes de control de iluminación.

Por lo tanto las empresas orientadas a la tecnología, tales como IBM, Control4, Lagotek, Texas Instruments, Philips, Btcino entre otras han empezado a crear sistemas domóticos para el control de iluminación. Orientándose a tener un control inalámbrico y automático sobre la iluminación de cierta infraestructura.

#### 2.1.2 Estado de investigación.

Principales sistemas domóticos utilizados:

a. Sistemas domóticos basados en corrientes de portadora.

Estos sistemas utilizan la red eléctrica previamente instalada y mediante ella modulan una señal y la mandan sobre la red eléctrica, esto permite un bajo costo de instalación. Actualmente existen protocolos PLC, tales como Home Plug o el estándar de comunicación IEEE 1901 que permiten tener soluciones potentes y complejas.

Entre estos sistemas encontramos X-10 de Home Systems, CAD de legend, Global Home System de Landis&Gyr.

b. Sistemas domóticos con redes dedicadas de comunicación.

Estos sistemas domóticos con red propia de comunicación pueden ser cableados o bien inalámbricos, y como utilizan una alimentación independiente y un canal de comunicación propio es más fácil poder hacer un sistema distribuido permitiendo una mejor eficiencia del mismo.



A continuación se mostrará un cuadro comparativo entre un sistema centralizado y un sistema distribuido:

Tabla 1: Cuadro comparativo de sistema centralizado y distribuido [1]

Criterio	Sistema Centralizado	Sistema Distribuido
Instalación	Instalación sencilla.	Instalación y programación complicada.
Cableado	Mayor cantidad de cableado	Menor cantidad de cableado
Costo	Bajo costo, debido a que no necesita módulos especiales de direccionamiento	Es costoso por incluir protocolos de CSMA/CD y poseer capacidad de procesamiento.
Sistema	Reconfiguración costosa y dependencia de la unidad de control	Sistemas más potentes y complejos.
Seguridad	Mayor seguridad debido a que todo el procesamiento es controlado por una unidad de control.	Menor seguridad pero mayor versatilidad.

Para el caso de los sistemas domóticos con red dedicada de comunicación inalámbrica, los dos principales protocolos de comunicación son:

A) Z-wave:

Junto con Zigbee es uno de los protocolos de comunicación más prominentes de comunicación inalámbrica.

Su algoritmo consiste en determinar la vía más rápida de enviar mensajes a los dispositivos, esto lo hace mediante el controlador que tiene el registro de los códigos únicos de cada dispositivo Z-wave y cada código está asociado a la ubicación del mismo dispositivo, haciendo que la comunicación sea rápida.

Z-wave presenta cerca de cuatro billones de ID's únicos.

## B) ZigBee:

Este protocolo de comunicación inalámbrica está basada en el estándar 802.15.4 de Instituto de Ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers), fue creado por la alianza Zigbee Alliance que actualmente está conformada por más de 300 compañías de nombre internacional dedicadas a la tecnología, por ejemplo: Texas Instruments, Sony, Siemens, Samsung, Motorola, Toshiba, Panasonic, etc. Debido a que es un protocolo de uso libre, esto permite tener un costo menor a comparación de los dispositivos Z-Wave.[7] [11]

Características: [11]

- Bajo consumo y alta eficiencia de energía eléctrica.
- Puede conectar hasta 65536 dispositivos en la misma red.
- Puede trabajar en las frecuencias 2.4 GHz, 900 MHz y 868 MHz.
- Dependiendo de la frecuencia se pueden obtener anchos de banda de 250kbps, 40kbps, 20kbps.
- Puede comunicarse a través de 16 canales a la frecuencia de 2.4GHz.
- Puede soportar distintos tipos de topologías de red (Punto a punto, Punto a multipunto , Anillo, Malla, etc )

Existen empresas nacionales e internacionales en el marco actual que ya utilizan estas tecnologías para poder hacer sus sistemas domóticos, lamentablemente cada empresa presenta una solución personalizada y distinta para cada cierto tipo de aplicación (seguridad, iluminación, audio, etc.) provocando una inflexibilidad en la compatibilidad de sus productos con los de otras empresas, haciendo que la integración sea una tarea de alta complejidad.

Generalmente las empresas dedicadas a la fabricación de los sistemas domóticos orientados a la iluminación también brindan un servicio completo a lo largo de todo el proceso de implementación del sistema de iluminación (Fabricación, Instalación, interfaz de usuario, capacitación y soporte técnico) como por ejemplo BTICINO y CONTROL4 pero también hay empresas que solo se dedican a instalar o manejar ciertas fases de la implementación como SMART HOUSE PERÚ (instalación en adelante) y CHARMED QUARK (interfaz de usuario).

Según K. Gill , S.H. Yang, F. Yao y X.Lu [28] la solución planteada para el control de iluminación consiste en que ésta es controlada con actuadores con conexión

Zigbee. Luego de que la red Zigbee sea creada y configurada, el circuito coordinador de la red puede comunicarse con una terminal virtual la que se encarga de enviar y registrar los valores de iluminación y a su vez brindar un soporte de seguridad al sistema, por último, el terminal virtual se conecta a la red wifi del hogar permitiendo que todo el sistema se pueda controlar remotamente desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

R. Iberico [32] propone igualmente el uso de tecnología Zigbee y WiFi, la diferencia es que para su diseño el utiliza el dispositivo Secure Socket iWifi, este circuito se utiliza para poder conectar la red Zigbee a la red Wifi del sistema.

BTICINO Axolute [24] también utiliza tecnología Zigbee pero a diferencia de los diseños anteriores, sus instalaciones involucran conexiones en la caja principal debido a que sus interruptores interactúan con los circuitos instalados en la caja de cambio con el protocolo Zigbee. Para estas instalaciones se requiere que el hogar tenga unas instalaciones eléctricas bien ordenadas y sectorizadas.

### 2.1.3 Síntesis sobre el asunto de estudio

Actualmente existen varios sistemas de control de iluminación inalámbrica utilizando Zigbee, Z-wave, X10, Insteon, etc en donde se busca tener una mayor versatilidad para poder colocar más dispositivos y una mejor administración en el uso de la energía eléctrica.

En el Perú no está difundido el uso y tampoco existen muchas empresas que brinden el servicio de instalación de un sistema automatizado de iluminación controlado mediante un dispositivo móvil para el uso doméstico o el de oficinas y las empresas proveedoras actuales suelen tener un costo muy elevado.

## 2.2 Conceptualizaciones generales.

### 2.2.1 Edificio Inteligente:

Son espacios de alta tecnología que contienen una tecnología sofisticada para el control de un ambiente interno [3]

Atributos:

- El edificio debe de “saber” lo que está pasando dentro y fuera del edificio. [3]
- El edificio debe decidir de la forma más eficiente posible; el ambiente adecuado, confortable y productivo para sus ocupantes. [3]
- Los edificios deben de responder rápidamente a las peticiones de los ocupantes. [3]

Funciones:

Los edificios Inteligentes tienen la capacidad de poder controlar varios factores tales como:[4]

- Iluminación.
- Equipos electrónicos.
- Seguridad.
- Temperatura, Calefacción.
- Media (video y música).
- Jardinería.
- Control de energía [1].

### 2.2.2 Sistema de Control.

Un sistema de control es un sistema que se implantan ciertas estrategias de control para conseguir una respuesta deseada (variable controlada) y se manipulan ciertas entradas al sistema. [8]

Partes [2]:

- Sensores: Se encargan de detectar la actividad del entorno.
- Actuadores: Se encargan de modificar el entorno.
- Controladores: Se encargan de procesar la información del sensor y enviar la orden al actuador para modificar el entorno. Estos pueden ser programados por el usuario.

### 2.2.3 Modos de control de Iluminación [1].

- Alto Voltaje:

Se utilizan componentes de alta tensión tales como contactores y temporizadores.

Su costo es elevado por su complejidad.

Utilizados mayormente en la industria.

- Bajo Voltaje:

Se utilizan interruptores comunes y son ideales para el uso de las aplicaciones de la domótica como es el uso de sensores y actuadores.

### 2.2.4 Red domótica

Es una combinación de transmisores y receptores controlados por un microprocesador y que presentan un canal de comunicación ya sea mediante cable (utilizando la red eléctrica) o inalámbrico [2].

### 2.2.5 Sistema de iluminación automatizado [2]

Fuentes de luz instalados y distribuidos de forma óptima para asegurar un ambiente adecuado para la actividad que se desea hacer; Estas fuentes de luz operan de manera autónoma controladas por un microprocesador previamente programado por un usuario.

Elementos:

- Fuente de Luz
- Luminarias
- Sistema de control

Funciones:

- Debe presentar un ambiente agradable para la actividad a realizar
- Debe de trabajar de manera independiente.
- Debe de tener una ergonomía adecuada
- Debe ser energéticamente racional

### 2.2.6 Aplicación web

Es una aplicación que utiliza herramientas de diseño de páginas web (HTML, CSS Java Script, entre otros) pretendiendo tener alguna funcionalidad para el usuario y está almacenada en la un servidor que tiene acceso a internet; son visualizados

en la gran mayoría de navegadores brindando una característica de universalidad, es decir, se pueden observar e interactuar en la gran mayoría de dispositivos (Computadoras, Celulares, Tabletas, etc) o sistemas operativos (Android, IOs, Windows, Linux, etc).[30]

### 2.3 Modelo teórico

El modelo teórico de la presente investigación consiste en que mediante una aplicación web con la función de central de monitoreo, permita que con cualquier dispositivo con acceso a internet (PC, Laptop, Tablet, Smartphone, etc), se pueda controlar y configurar los horarios de los niveles de iluminación de las habitaciones en las cuales están instaladas las luminarias.

La información que se manipula en la central de monitoreo va ser almacenada en el servidor local, este servidor deberá estar prendido todo el tiempo para poder monitorear y almacenar en cada instante los valores de iluminación.

Este servidor local va a estar conectado al circuito coordinador Zigbee que se va a encargar de enviar y recibir las instrucciones de los diversos componentes del sistema. Por ejemplo el servidor va a poder enviar los comandos de encendido o apagado de cierta luminaria. Al igual que va a poder almacenar los valores recibidos por el sensor de luz y de presencia.

Un componente muy importante del sistema es el circuito controlador de iluminación debido a que se encarga de manipular el nivel de luz de las luminarias de la habitación mediante las instrucciones recibidas desde el circuito coordinador. Para este proyecto se van a utilizar luminarias LED debido a su gran eficiencia energética.

Para poder regular el nivel de iluminación adecuado, se van a utilizar sensores de luz, los cuales se comunicarían al circuito coordinador controlador mediante el protocolo de comunicación Zigbee.

Así mismo también se van a utilizar un sensor de presencia, para poder crear un sistema que pueda apagarse de manera automática cuando no detecta la presencia de alguna persona, permitiendo un mejor ahorro de energía.

A continuación en la figura 1, se muestra un esquema del modelo teórico a realizar.

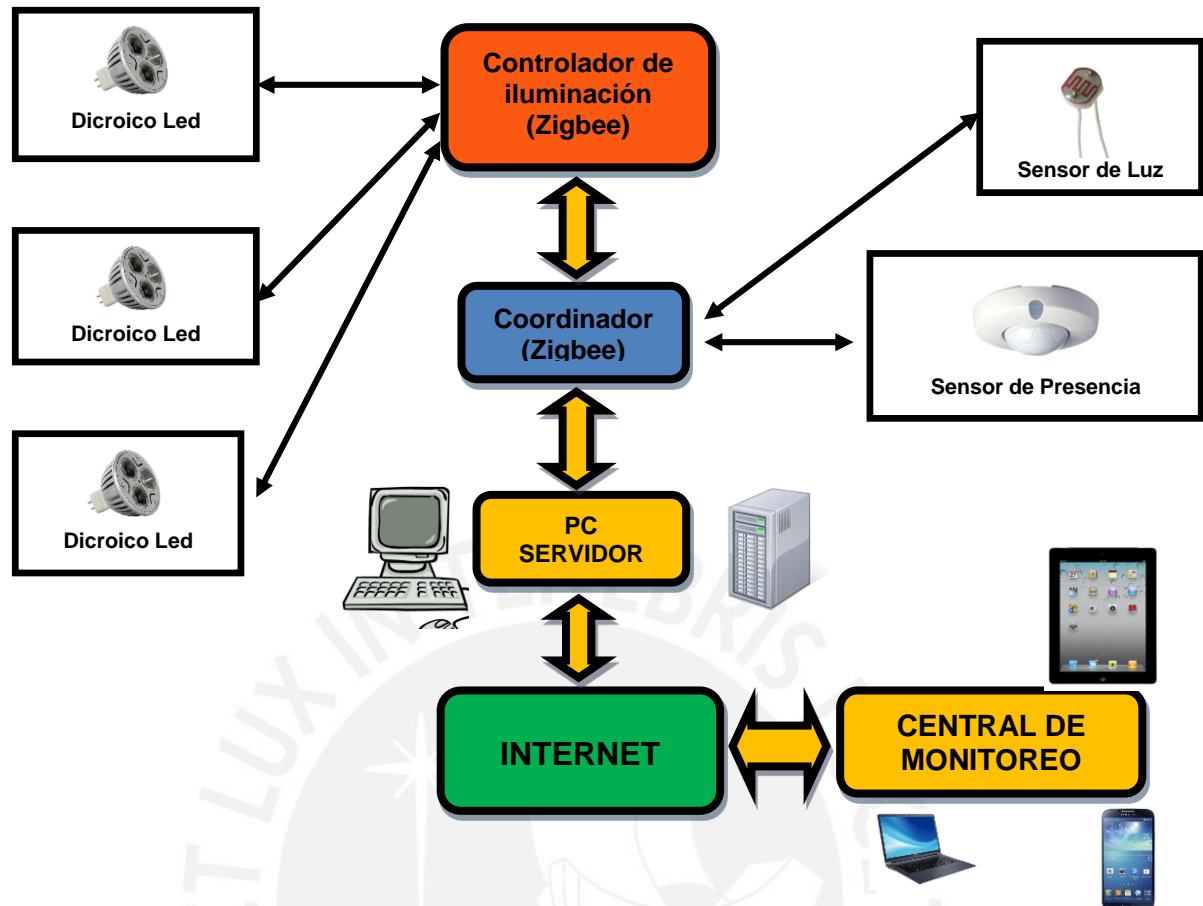


Figura 1: Modelo teórico del sistema de iluminación automatizado

#### 2.4 Definiciones operativas

Para medir la eficiencia del sistema debemos tomar en cuenta los siguientes indicadores:

- **Tiempo de respuesta del sistema:**

Es necesario que el tiempo de respuesta sea lo más rápido posible

- **Ancho de banda de la señal:**

El ancho de banda de la señal utilizada debe ser lo más compacta posible para evitar interferencias.

- **Precisión y fidelidad del sistema de control:**

El sistema debe cumplir exactamente o en gran medida con las órdenes e instrucciones que se mandan al controlador.

## CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

### 3.1 Hipótesis de la investigación.

#### 3.1.1 Hipótesis principal.

Dado que en el Perú no se encuentra implementado en la gran mayoría de los casos un sistema automatizado de iluminación que permita tener un control sobre la iluminación de las viviendas como también de los centros de trabajo, ocasionando continuamente pérdidas innecesarias de energía, pérdidas económicas e incomodidad para los usuarios; entonces un sistema de control inalámbrico de iluminación automatizado utilizando tecnología inalámbrica Zigbee y con la capacidad de poder ser controlado y tener un horario de encendido programable mediante un dispositivo móvil permitirá tener una mejor administración de la iluminación, reduciendo considerablemente pérdidas económicas y energéticas como también brindar un mayor confort para los usuarios.

#### 3.1.2 Hipótesis secundarias.

- A. Al tener en cuenta la iluminación adecuada para la realización de diversas tareas, y que esta se regule automáticamente dependiendo de la hora, permitirá que el usuario presente una mejor productividad y confort.
- B. El uso de circuitos controladores de iluminación controlado por un microprocesador el cual está en plena comunicación con el servidor local utilizando el estándar de comunicación Zigbee, deberá permitir regular la iluminación de manera eficiente y de forma precisa.
- C. El control y monitoreo del usuario desde un dispositivo móvil del sistema de iluminación permitirá aumentar el confort y la productividad del usuario.
- D. El uso de sensores de presencia o sensores de luz, ayudarían a administrar mejor al sistema automatizado, en el sentido que podrían apagar o prender luminarias cuando se requiera.



### 3.2 Objetivos de la investigación

#### 3.2.1 Objetivo principal.

Diseño y desarrollo del control inalámbrico de un sistema de iluminación en donde se pueda regular la iluminación desde un dispositivo móvil permitiendo que se pueda brindar un mayor confort para el usuario.

#### 3.2.2 Objetivo específicos

- A. Diseñar un sistema que permita optimizar el uso de la energía eléctrica, permitiendo una reducción en el uso innecesario de la misma.
- B. Desarrollar un algoritmo para la programación que tenga en consideración los niveles adecuados de iluminación para cada hora.
- C. Implementar la conectividad entre el servidor y los componentes de tal forma que los tiempos de respuesta y de fidelidad sean adecuados.
- D. Desarrollar una interfaz de monitoreo fácil de entender para el usuario en el servidor y también para el usuario que tiene acceso inalámbricamente desde cualquier dispositivo móvil.

### 3.3 Universo y Muestra

El universo está conformado por todos los lugares domésticos, oficinas e industrias que presentan un control manual de la iluminación basado en interruptores.

La muestra que se utilizará para el desarrollo y las pruebas de esta investigación será mi propio domicilio específicamente dos habitaciones, el estudio y la sala, los cuales tienen un área de 11.7m<sup>2</sup> y 17.7m<sup>2</sup> respectivamente.

Los requerimientos que vamos a considerar para el desarrollo de la presente investigación son en primer lugar que los niveles de iluminación se acerquen lo más posible a los niveles adecuados según las actividades que se realizan habitualmente en cada habitación (detalle en la tabla 2) y en segundo lugar que el costo económico del desarrollo de la investigación no sea muy elevado.



Figura 2: Imagen actual del estudio



Figura 3: Imagen actual de la sala

### 3.4 Distribución Actual de las luminarias.

#### 3.4.1 Estudio:

Como se puede apreciar en la figura 4, actualmente solo se posee una luminaria ubicada en el centro del estudio, esta luminaria es un fluorescente de luz blanca de 20W que puede brindar 1100 Lúmenes (aproximadamente el mismo valor que brinda un foco incandescente convencional de 100W) y está luminaria es controlada mediante un interruptor que se encuentra junto a la puerta.

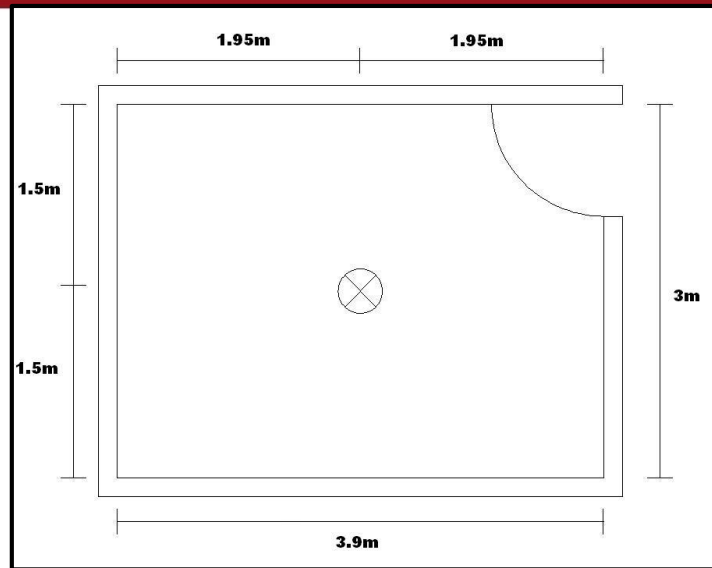


Figura 4: Distribución actual de las luminarias en el estudio

### 3.4.2 Sala

La sala presenta actualmente 6 luminarias como muestra la figura 5 en donde cada luminaria es un dicroico convencional GU-10 de 50w el cual presenta un flujo luminoso de 500 Lúmenes.

Existen dos interruptores los cuales se encargan de controlar las 6 luminarias, estos se encuentran en la entrada de la sala, y un interruptor se encarga de prender o apagar 4 luminarias, específicamente las cuatro que se encuentran a la izquierda de la figura 4. Los otros dos son controlados por el otro interruptor. Cabe señalar que actualmente la iluminación de la sala es deficiente en horas nocturnas por lo que continuamente se utilizan lámparas para suplir esta deficiencia.

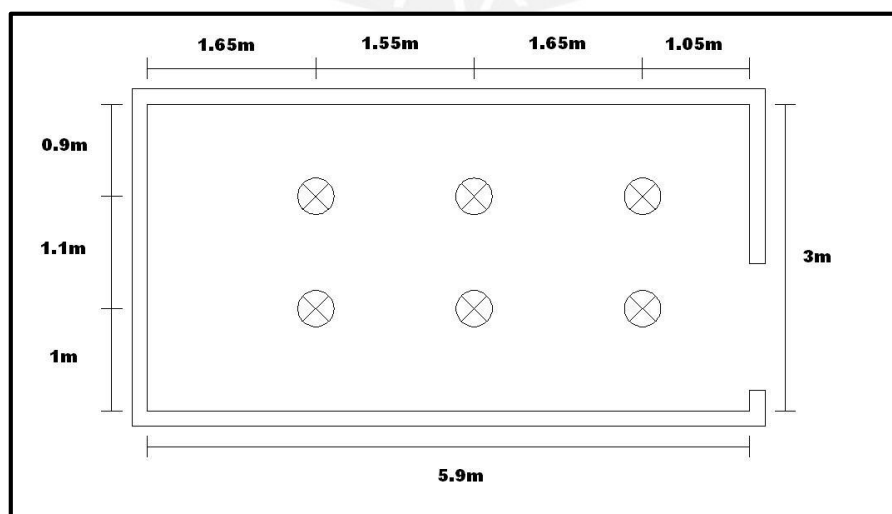


Figura 5: Distribución actual de las luminarias en la sala.

3.5 Cálculo para un óptimo alumbramiento.

Los siguientes cálculos de iluminación recomendada se basan en el catálogo de utilización de luminarias de Osram:

Tabla 2: Cálculo del flujo luminoso requerido.

	ESTUDIO	SALA
Iluminación Recomendada según Ministerio de energía y minas [13]	500luxes	500luxes
Iluminación general mínima[14]	75luxes	75luxes
Superficie (S)	3.9m x 3m = 11.7m <sup>2</sup>	5.9m x 3m = 17.7m <sup>2</sup>
Altura	2.6m	2.6m
Altura de trabajo	0.85m	0.85m
Distancia entre luminaria y estación de trabajo (h). Considerando 0.1m altura de la lámpara.	2.6-0.85-0.1= 1.65m	2.6-0.85-0.1= 1.65m
Índice del local: $K = \frac{\text{Ancho} \times \text{Largo}}{h \times (\text{Ancho} + \text{Largo})}$	1.03	1.20
Características: 1. Color Techo 2. Color de las Paredes 3. Color del Suelo	1. Blanco 2. Blanco 3. Madera (oscura)	1. Madera (oscuro) 2. Blanco 3. Madera (clara)
Rendimiento del local n <sub>R</sub> (en base a las características de las habitación y del índice del local K) tabla [Anexo 1]	0.87	0.99
Rendimiento de la Luminaria n <sub>L</sub> (depende de la luminaria, se asumirá un valor del 95%)	0.95	0.95
Rendimiento de la Iluminación: n = n <sub>L</sub> x n <sub>R</sub>	0.87 x 0.95 = 0.8265	0.99 x 0.95 = 0.9405
Factor de mantenimiento f <sub>m</sub> (como es un espacio de domicilio y está cerrado, se asumirá un buen valor 0.8)	0.8	0.8
Flujo Luminoso Requerido $\Phi = \frac{\text{Luminancia Media (Em)} \times S}{n \times f_m}$	8847.55Lm	11762,36Lm
Flujo luminoso general mínimo: $\Phi = \frac{\text{Luminancia Mínima} \times S}{n \times f_m}$	1327.13Lm	1764.35Lm

Según los datos obtenidos en la tabla 2 se puede confirmar que tanto como en la sala y el estudio actualmente la iluminación es deficiente, pero la diferencia consiste en que en el estudio presenta una lámpara personal para cada área de trabajo, permitiendo que se pueda tener una buena iluminación aunque se recomendaría que por lo menos la iluminación debería superar la iluminación general mínima.

Por otro lado en la sala si se supera la iluminación general mínima pero no llega al nivel recomendable de iluminación, y como no se usan lámparas adicionales, la iluminación actual debería acercarse a este nivel recomendado.

### 3.6 Comunicación inalámbrica.

Para el desarrollo de la siguiente investigación se va a utilizar una comunicación inalámbrica, el protocolo Zigbee, debido a que está basado en el estándar de la IEEE, y presenta mayor documentación al ser un protocolo libre.

Otra ventaja de usar el protocolo Zigbee, es que presenta la cualidad de bajo consumo, y alta eficiencia de la energía, como también una facilidad para la programación de los mismos.

#### 3.6.1 Módulos RF XBEE.

Los módulos RF XBEE son unos dispositivos de radiofrecuencia creados por la empresa Digi International, Inc. Estos dispositivos se caracterizan por seguir con el estándar de comunicación de la IEEE 802.15.4, es decir también cumplen con el protocolo ZIGBEE.

Existen varios tipos de modelos, entre los principales encontramos los módulos XBEE Series 1, XBEE Series 2, y XBEE PRO.

Para la siguiente investigación se utilizaron los módulos RF XBEE Series 2, que se muestran en la figura 6, debido a que son más económicos, tienen un menor consumo de energía que los XBEE PRO, los XBEE series 2 a comparación de los XBEE series 1 presentan un protocolo llamado digi mesh que facilita la formación de redes tipo malla y porque la aplicación a realizar no necesita mucha potencia como la que ofrece el XBEE PRO.



Figura 6: Módulos RF XBEE Series 2 International a utilizar

Tabla 3: Comparación entre XBEE Serie 1, XBEE Serie 2, XBEE PRO.

	XBEE Serie 1	XBEE Serie 2	XBEE PRO internacional
Rango típico (urbano /interiores)	30 metros	40 metros	60m
Rango en línea recta	100 metros	120 metros	750 m
Corriente de transmisión y recepción	45/50 mA	40 /40 mA	250 / 340 mA
Frecuencia de operación.	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Entrada y Salidas Digitales	9 Entradas /8 Salidas	11+	11
Entradas analógicas	7	4	4
Salidas PWM analógicas	2	0	0
Bajo consumo, bajo ancho de banda, bajo costo, pequeño.	Si	Si	Si
Configuración en Malla	No	Si	Si
Topología punto a punto, topología estrella	Si	Si	Si
Topología en Malla	No	Si	Si
Requiere coordinador	No	Si	Si
Configuración punto a punto	Simple	Mas involucrada	Más involucrada
Red basada en estándares	Si	Si	Si
Aplicaciones basada en estándares	No	Si	Si
Firmware disponible	802.15.4 (IEEE standard)	ZB (ZIGBEE 2007),	ZB (ZIGBEE 2007),

## CAPÍTULO 4: DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

### 4.1 Consideraciones preliminares

Según el modelo teórico mencionado en el capítulo 2, las luminarias van a ser controladas mediante un circuito controlador, el cual utiliza ZIGBEE para poder comunicarse con el circuito coordinador, que es el encargado de comunicarse con los otros dispositivos, ya sea sensor de luz, sensor de presencia, o el servidor local.

Pero también debe de tomarse en cuenta que las luminarias deben poder ser controladas de la manera convencional, debido a que sería un inconveniente depender totalmente de un controlador central o un dispositivo móvil para poder cambiar la iluminación.

Para este fin se diseñaron bosquejos de cómo podrían ser estos interruptores manuales:

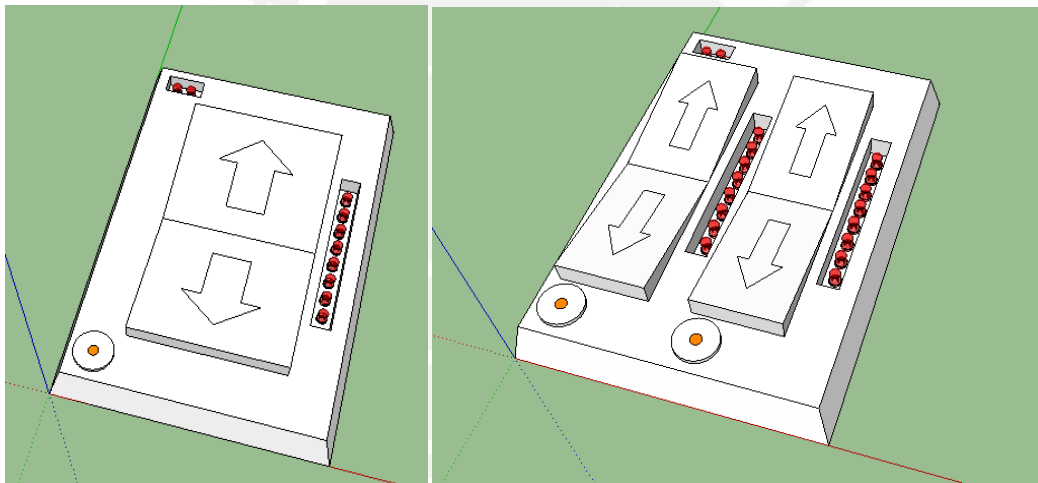


Figura 7 y 8: Diseño de los controladores manuales de iluminación para el estudio y para la sala respectivamente.

A diferencia de los interruptores convencionales que presentan solo dos estados (prendido o apagado), el diseño de estos controladores tendrían la forma de unos pulsadores, y la lógica sería Incrementar o disminuir el nivel de iluminación, y para indicar visualmente cual es el nivel de iluminación de la habitación, se pueden usar diodos emisores de luz (LED) como muestra la figura 7 y 8.

Las Luminarias LED con la capacidad de regulación de iluminación (“Dimmables”) son costosos, y como en la sala se necesitan una gran cantidad de luminarias, realizar este proyecto tendría un costo muy elevado por consiguiente, para cumplir con el requerimiento mencionado en el capítulo 3 sobre no tener un costo elevado

en el desarrollo de la investigación, se va a tener en consideración el desarrollo de un sistema de encendido y apagado de luminarias por sectores en la sala, como se muestra en la figura 9.

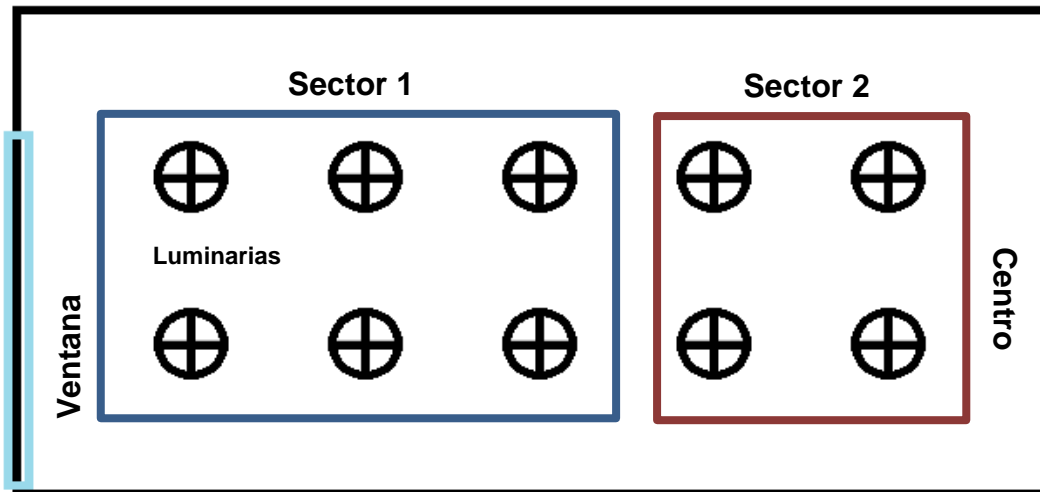


Figura 9: Sectores de iluminación de la sala.

Los circuitos a desarrollar son 5 y van a estar instalados según el siguiente diagrama de bloques que se muestra en la figura 10:

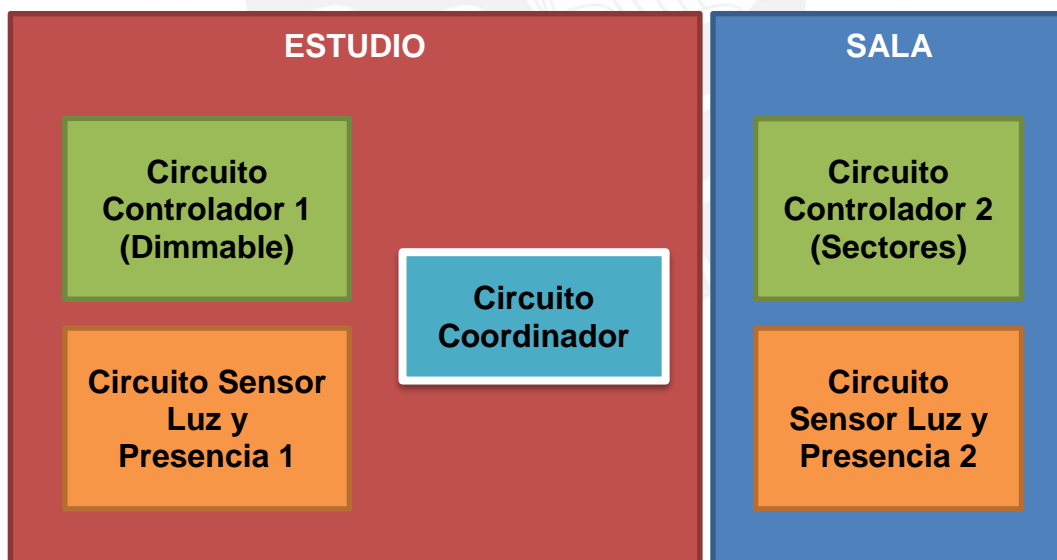


Figura 10: Diagrama de bloques de los circuitos a realizar

La ubicación del circuito coordinador es indistinta, debido a que el circuito coordinador va a estar conectado físicamente a una computadora con acceso a internet. Se va a considerar su ubicación en el estudio debido a que normalmente ahí se encuentran las computadoras.



4.2 Desarrollo del circuito controlador.

Para el circuito controlador se va a utilizar un ATMEGA88PA, el cual es un microprocesador de la familia ATMEL, es un microprocesador barato, fácil de conseguir en el mercado peruano. Se eligió este microprocesador debido a que en los cursos brindados a lo largo de la carrera, se ha brindado mucha información de cómo utilizarlo.

Para alimentar al circuito se va a utilizar un regulador de 3.3V, debido al que al módulo RF XBEE es el voltaje máximo que asegura un buen funcionamiento.

Los valores de las resistencias y condensadores son obtenidos desde la hoja de datos ya sea del ATMEGA88PA[16], el LM1117 y del mismo módulo RF XBEE, también se optó que la mayoría de los componentes sea de montaje superficial para poder tener un circuito más pequeño y así poder ahorrar espacio.

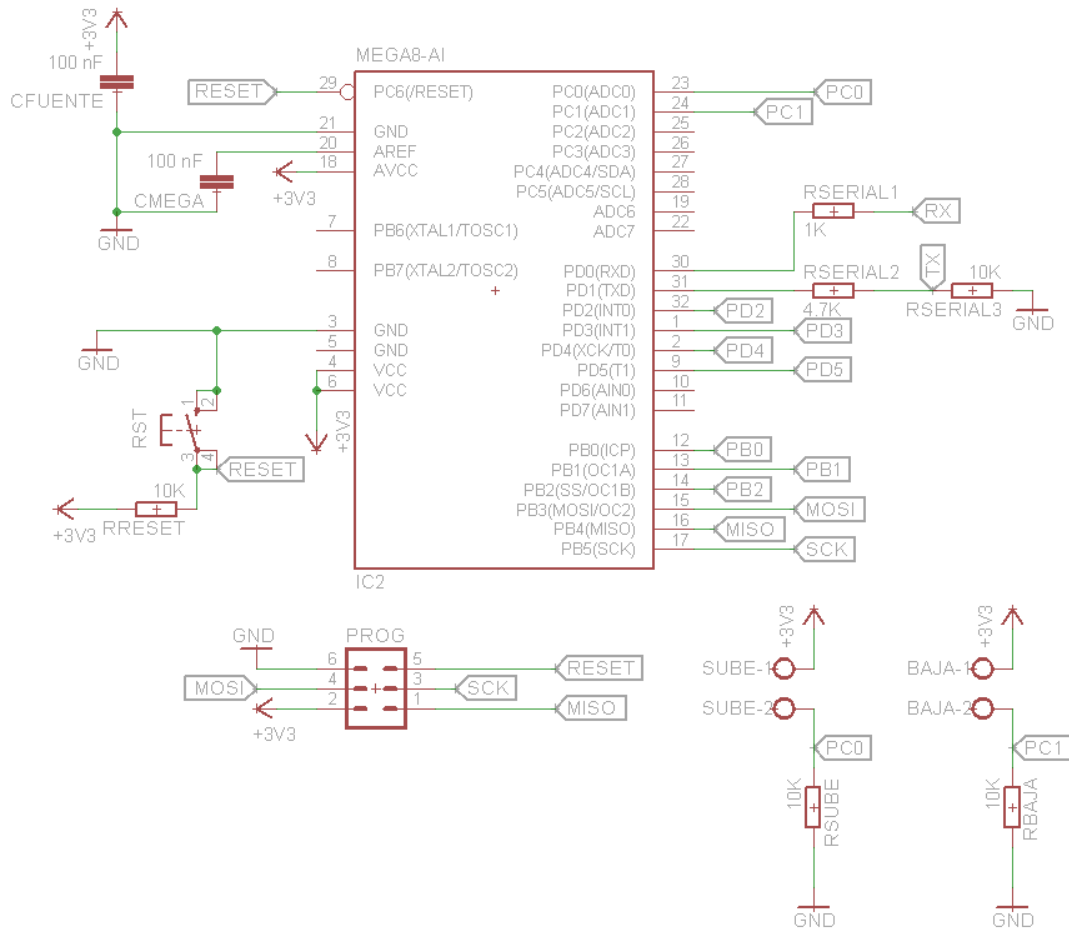


Figura 11: Diagrama del circuito controlador (parte 1) microprocesador y pulsadores.

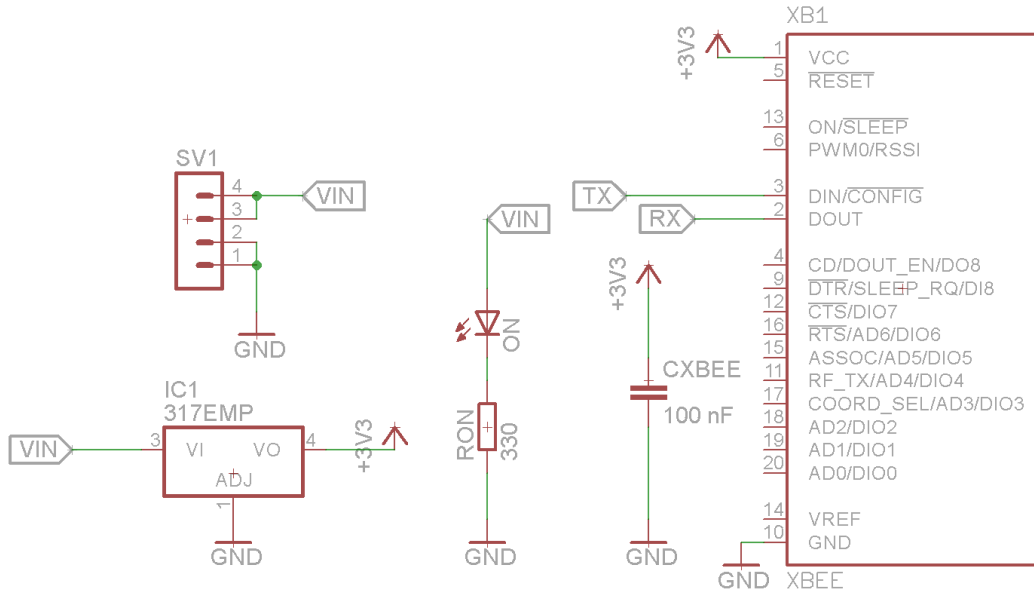


Figura 12: Diagrama del circuito controlador (parte 2) XBEE, pines de entrada y regulador de 3.3V.

Otra parte muy importante del circuito controlador es la función de poder controlar el encendido, apagado o el nivel específico de iluminación de las luminarias del ambiente, en la figura 11 se puede observar dos componentes muy importantes: MOC3020 y el 4N35.

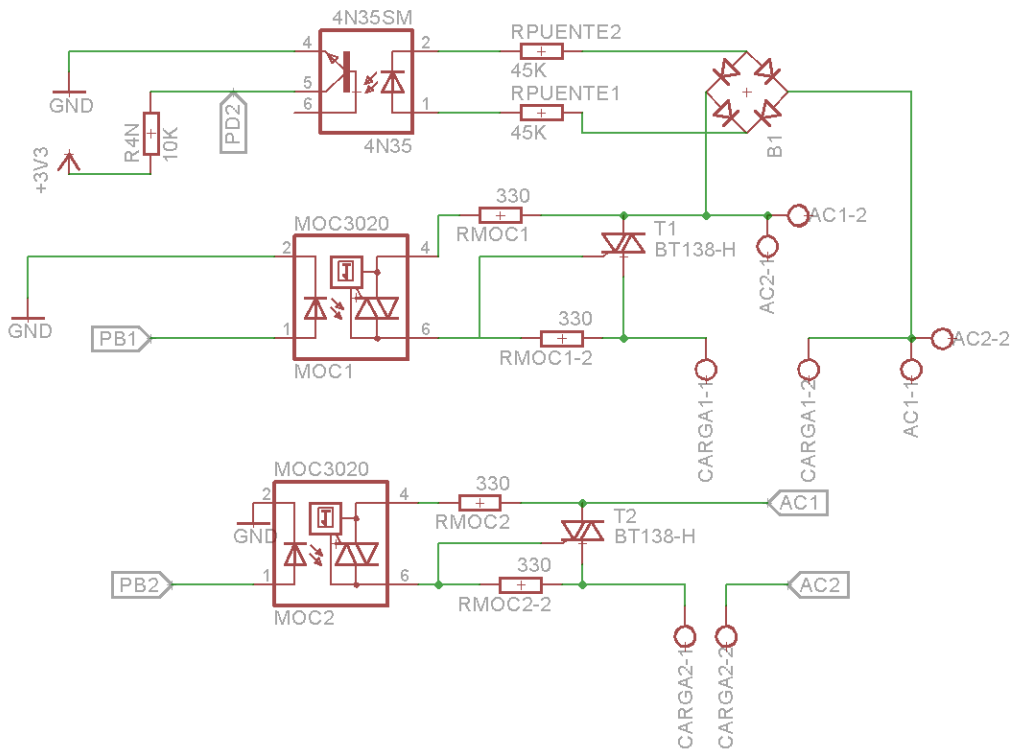


Figura 13: Diagrama del circuito controlador (parte3), Detector del cruce por 0.

El MOC3020 es un optoacoplador que se utiliza principalmente como un interruptor de corriente alterna, debido a que en su sección de alta potencia permite el paso de la señal en ambos sentidos.

El otro componente importante es el 4N35 que también es un optoacoplador pero a diferencia del componente anterior es que su sección de alta potencia solo permite el paso de la señal en un solo sentido.

Tanto el MOC3020 y el 4N35 se eligieron debido a su facilidad de adquisición en el mercado peruano y su bajo precio.

Según se puede observar en la figura 13 el MOC3020 con la ayuda del TRIAC BT138 se encarga de permitir o restringir el paso de corriente alterna a las respectivas cargas, para este caso serían las luminarias instaladas ya sea en la sala o en el estudio. Y para poder permitir que el nivel de iluminación pueda ser regulable el MOC3020 debe recibir una señal PWM que dependiendo del nivel de iluminación el tiempo en alta de la señal PWM debe ser mayor o menor.

Por otro lado es importante también que la señal PWM que envía el Microprocesador al MOC3020 este sincronizada a la señal externa de corriente alterna, por eso se necesita el 4N35S que sirve para poder detectar el cruce por "0" de la señal alterna.

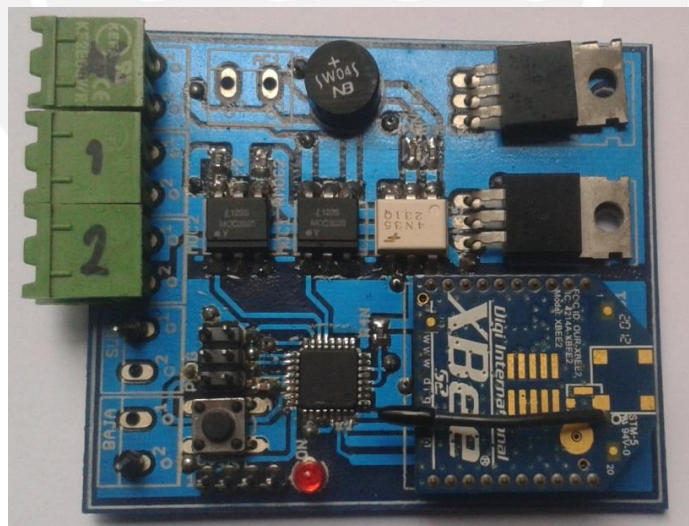


Figura 14: Circuito controlador fabricado

En la Figura 14 se puede observar el circuito final del controlador, el cual tiene como entrada: la señal de corriente alterna AC 220 VAC, señal de corriente continua DC de 5V y las señales de los interruptores para poder saber subir o bajar el nivel de iluminación. Las señales de salida que tiene el circuito controlador

son las señales de corriente continua que se dirigen hacia las cargas (carga 1 y carga 2), en este caso serían las luminarias.

#### 4.3 Desarrollo del circuito coordinador XBEE

Para poder programar los XBEE y para poder enviar datos desde el servidor central a toda la red, se desarrolló un circuito que se conecta mediante USB y que utiliza un FT232 para la comunicación.

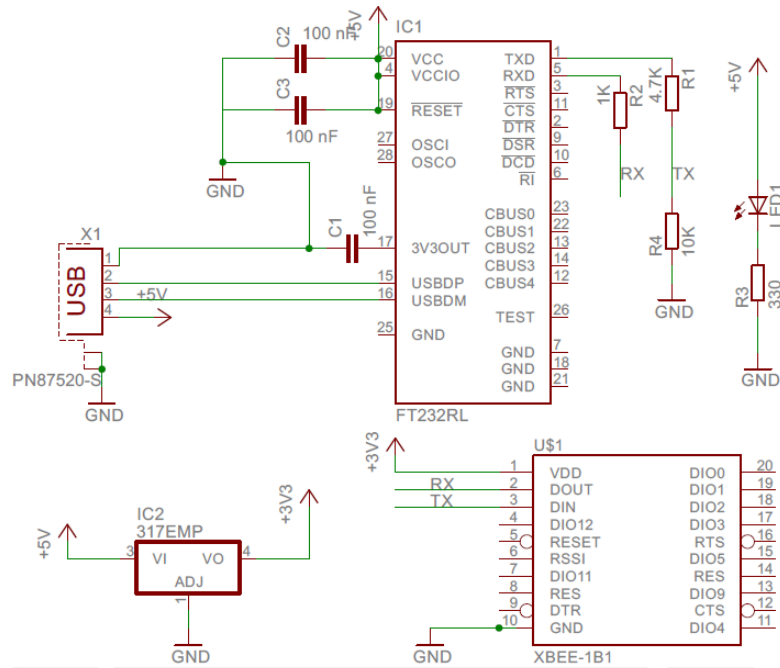


Figura 15: Diagrama del circuito coordinador del XBEE.

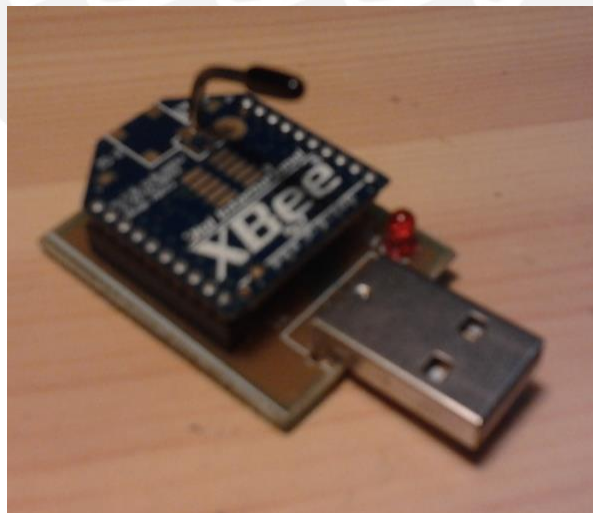


Figura 16: Circuito coordinador XBEE fabricado.

Este circuito también tiene otra función que es la de configurar todos los XBEE de la red, dándoles los parámetros necesarios para la comunicación (PAINID, BROADCAST; ATSL, ATDH, etc)

#### 4.4 Desarrollo del circuito sensor de presencia y de luz

Para economizar recursos, se optó hacer un solo circuito que se encargara de determinar si en la habitación existe la presencia de personas y también que determinara el nivel de iluminación que presenta dicha habitación.

Para el caso del sensor de presencia se usó un circuito PIR, sus siglas en inglés significan, sensor infrarrojo pasivo, el cual detecta si hay un cuerpo infrarrojo en su campo de visión. Y para el caso de la iluminación se utilizaron fotorresistencias, LDR.

Al igual que el circuito controlador, el circuito sensor tiene un ATMEGA88PA y un XBEE, los cuales ayudarán a la comunicación con el circuito coordinador

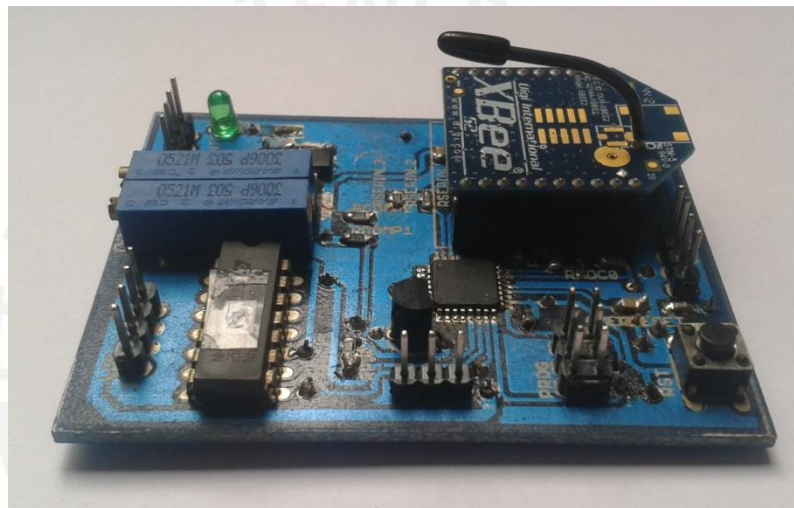


Figura 17: Circuito sensor de presencia y de luz fabricado.

#### 4.5 Programación de componentes.

##### 4.5.1 Desarrollo de la aplicación web.

La aplicación la cual va a administrar los horarios y la interfaz de control del usuario, es un archivo .php (lenguaje de programación php) el cual se puede abrir mediante cualquier navegador. También se usa una base de datos mysql para almacenar la información.

Para el diseño de las páginas web se tomó en consideración librerías de desarrollo web para dispositivos móviles (JQUERY MOBILE), los cuales permiten tener un mejor entorno visual para el usuario.

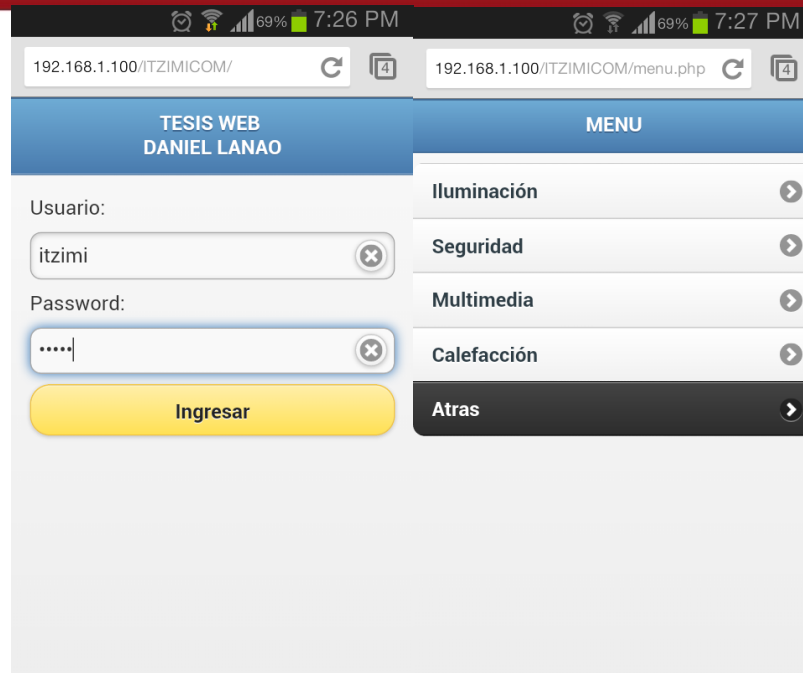


Figura 18 y 19: Interfaz inicial (Inicio de sesión y menú principal)

Como se puede observar en la figura 18, el paso inicial de a aplicación web, es un proceso para iniciar sesión, se debe colocar un usuario y contraseña, esto permite que el sistema tenga una mayor seguridad.

El siguiente paso es elegir en el menú (figura 19) el sistema domótico que se desea controlar, por efectos de diseño se agregaron los sistemas de seguridad, multimedia y calefacción pero estos sistemas no están desarrollados en la presente investigación solamente el sistema de iluminación.



Figura 20 y 21: Menú secundario y selección del modo de operación

Como se puede observar en la figura 20, el sistema permite elegir entre controlar el estudio o controlar la sala. Y también entrar a la pestaña de administración en donde se selecciona el modo de operación del sistema (programación, manual, automático)



Figura 22 y 23: Interfaz del control en tiempo real del estudio y de la sala.

En la figura 22 se puede observar que para el caso del estudio se pueden elegir una valor de iluminación gradual y que pueden tener valores de (0%,25%,50%,75% y 100%), por otro lado para el caso de la sala, figura 23, se puede elegir si el sector de las luminarias que se encuentran más próximas a la ventanas se desea que se encienda o no al igual que el sector del centro de la habitación.

Para estas dos habitaciones adicionalmente se tiene una función que permite programar el nivel de luz necesario para cierta hora que se necesite, como se muestra en las figuras 24, 25 y 26.



Figura 24, 25: Programación y tabla de horarios A y B.

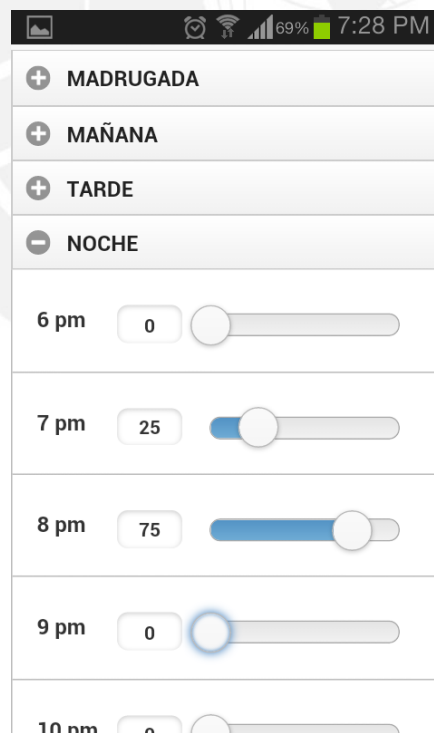


Figura 26: Programación y tabla de horarios



4.5.2 Programación de los microprocesadores.

a) Circuito Controlador

A continuación se presenta el algoritmo del programa que va a estar en el ATMEGA88PA del circuito controlador de la iluminación.

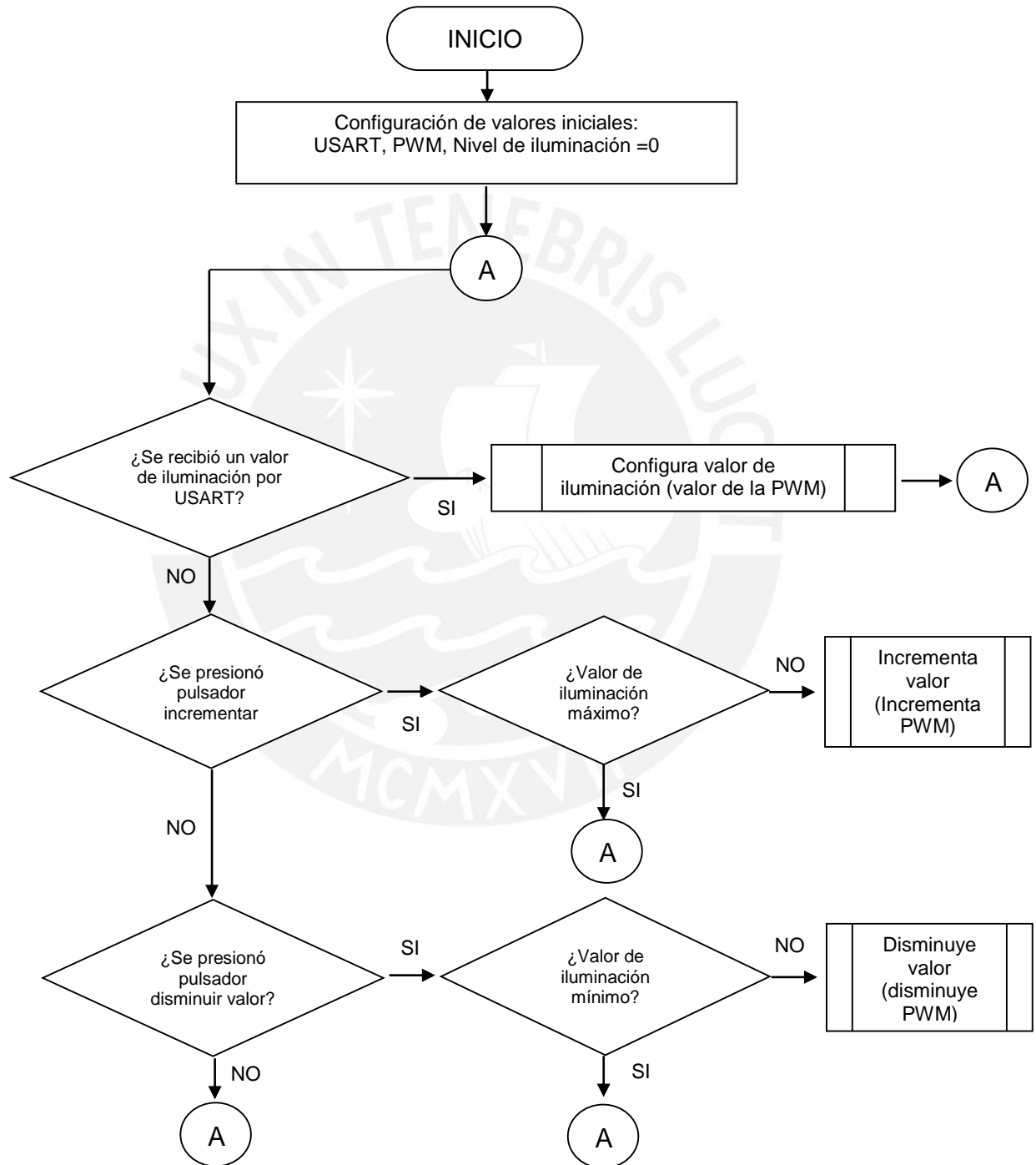


Figura 27: Algoritmo del microprocesador ATMEGA88PA para el circuito controlador.

b) Circuito sensor de iluminación

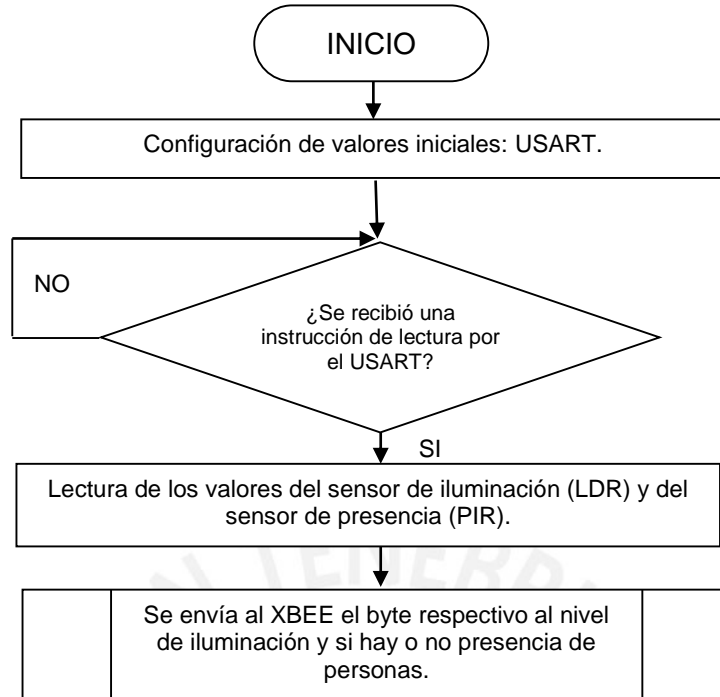


Figura 28: Algoritmo del microprocesador ATEMEGA88PA para el circuito sensor de iluminación y el sensor de presencia.

4.5.3 Configuración de los XBEE.

Utilizando el programa X-CTU de la compañía Digi international, Inc. Se programaron los XBEE en modo AT (Modo Transparente), debido a que su programación es más sencilla y cumple con el objetivo que toda la red se pueda comunicar con el circuito Coordinador.

La topología de red de los XBEE es una topología estrella.

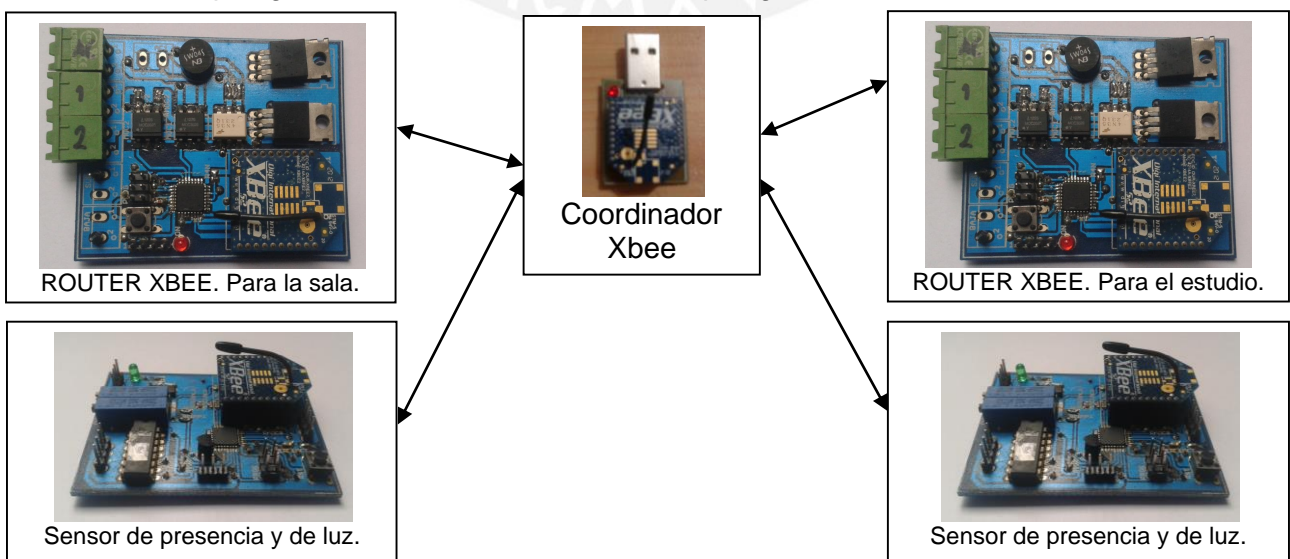


Figura 29: Configuración de los XBEE.

#### 4.6 Configuración de las luminarias.

En el capítulo 3 se obtuvieron los valores generales mínimos y recomendados del flujo luminoso para las dos habitaciones:

Tabla 4: Valores obtenidos en el capítulo 2.

	Sala	Estudio
Flujo luminoso recomendado	11762.36lm	8847.55lm
Flujo Luminoso general mínimo	1764.35lm	1327.13lm

Las luminaria que se propone utilizar para el diseño es la luminaria LED, de la marca DIXON, las cuales tienen un consumo de 3W, conector GU10, 220 V, dimmables, y brindan un flujo luminoso de 810lm.



Figura 30: Luminaria a utilizar.

Con esa información para el caso del estudio bastaría utilizar 2 luminarias de este modelo;  $1620\text{lm} > 1327.13\text{lm}$  para poder cumplir el flujo luminoso mínimo. No es necesario llegar al nivel recomendado debido a que en el estudio también se utilizan lámparas de escritorio los cuales facilitan llegar al nivel de iluminación recomendado.

Por otro lado para el caso de la sala, se van a utilizar 12 luminarias, y a pesar de que no se llegue al nivel recomendado,  $9720\text{lm} < 11762\text{lm}$ , también hay que considerar que en el caso particular de la sala, esta recibe iluminación por parte de otras partes de la casa y también la iluminación de los postes de luz de la calle.

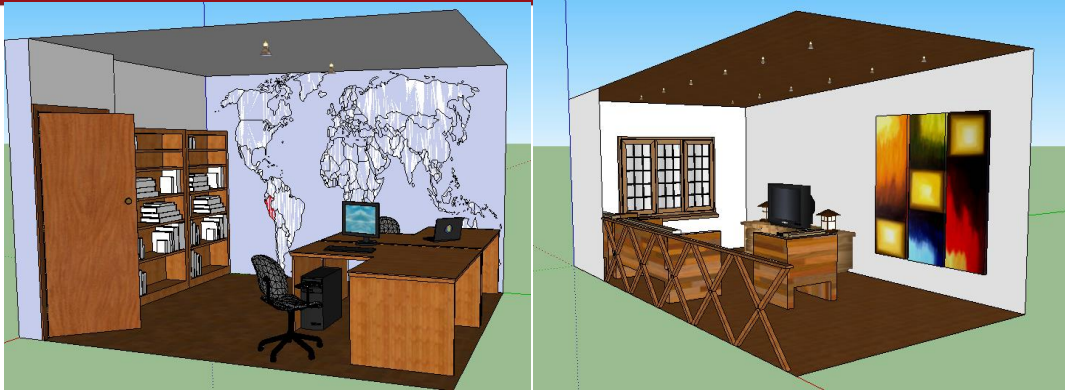


Figura 31: Esbozos de donde se van a ser colocados las luminarias.

4.7 Programa en el servidor local.

Para poder en todo momento tener la capacidad de controlar la iluminación de las habitaciones desde cualquier dispositivo móvil es imprescindible que exista un programa que este consultando continuamente a la base de datos del servidor y envíe comandos al circuito coordinador.

Para el caso de esta investigación se desarrolló un programa utilizando lenguaje de programación JAVA el cual presenta el siguiente algoritmo.

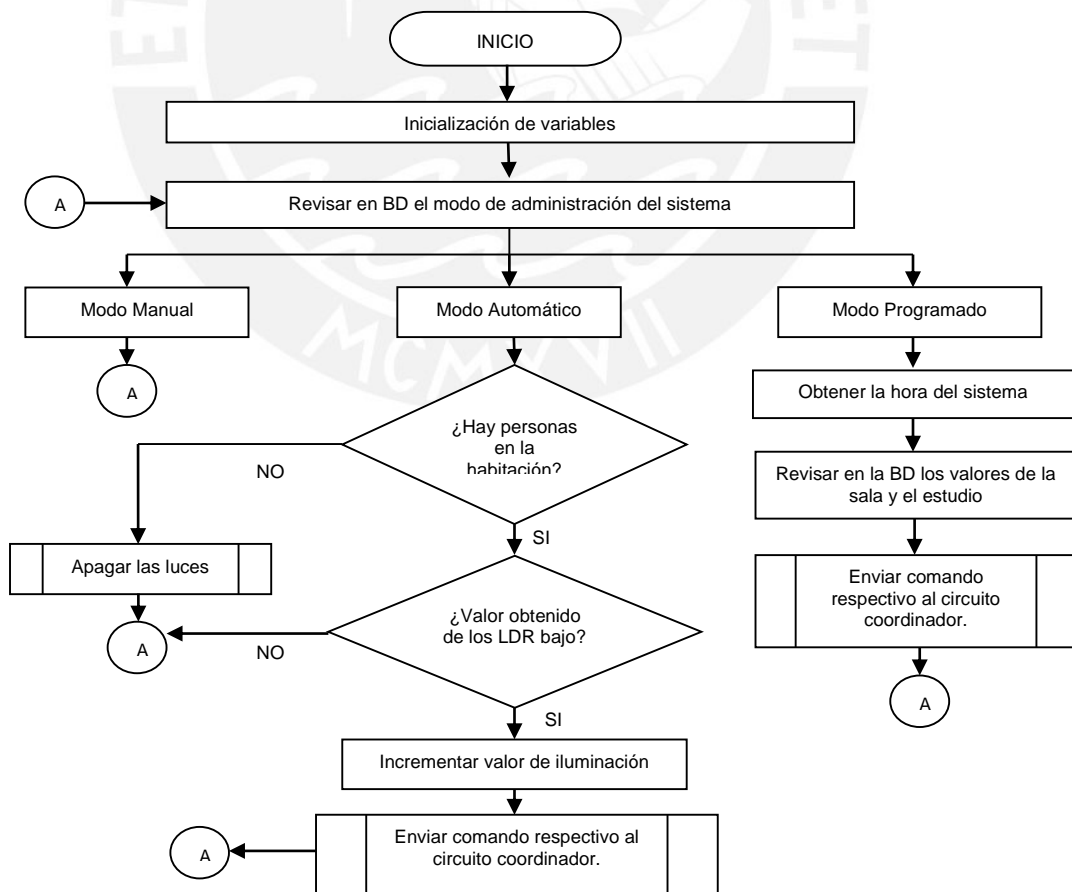


Figura 32: Algoritmo del programa en el servidor

#### 4.8 Pruebas realizadas.

Lo que se busca en estas pruebas son tres características que se necesitan que tenga el sistema: el menor tiempo de respuesta a una instrucción, alta precisión y fidelidad.

Las pruebas realizadas para comprobar los diseños y desarrollos realizados fueron:

##### 4.8.1 Conectividad de los módulos XBEE para las distintas habitaciones.

Desde el servidor central se envían bytes (en forma de letras) a los distintos XBEE conectados en toda la casa. La idea de esta prueba es comprobar que los XBEE se puedan comunicar, y en efecto se configuraron a los circuitos controladores y los circuitos de sensores de la red que al recibir cierta letra envíen el valor actual que tienen almacenado, ya sea el nivel de iluminación o la información acerca el nivel de luz o de presencia que se tenga. Al hacer esta prueba directamente desde el terminal del XCTU se puede observar que la respuesta de los distintos XBEE es inmediata.

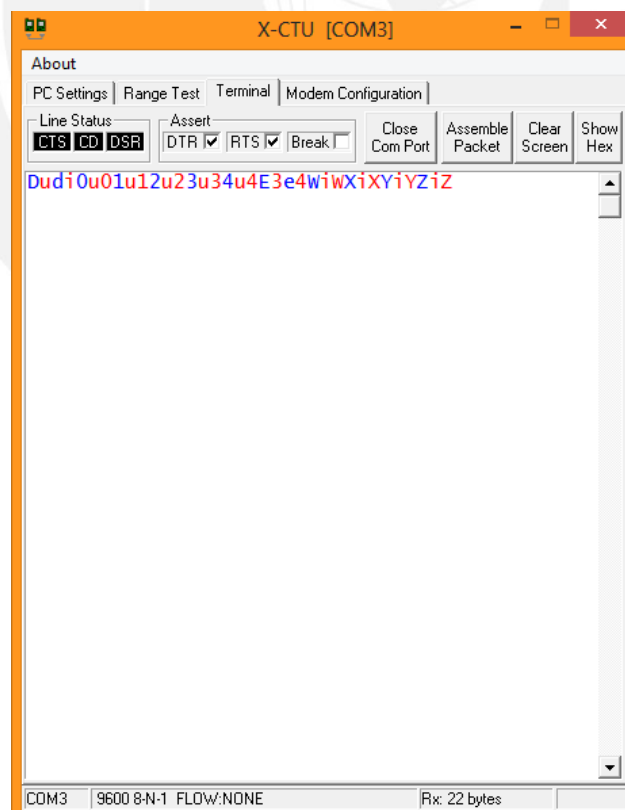


Figura 33: Comprobación de conectividad entre el servidor y los módulos Xbee

#### 4.8.2 Conectividad con la base de datos Mysql.

Esta prueba consistió en verificar que se modifique y se lea desde cualquier dispositivo móvil la información que se encuentra almacenada en la base de datos MYSQL en el servidor.

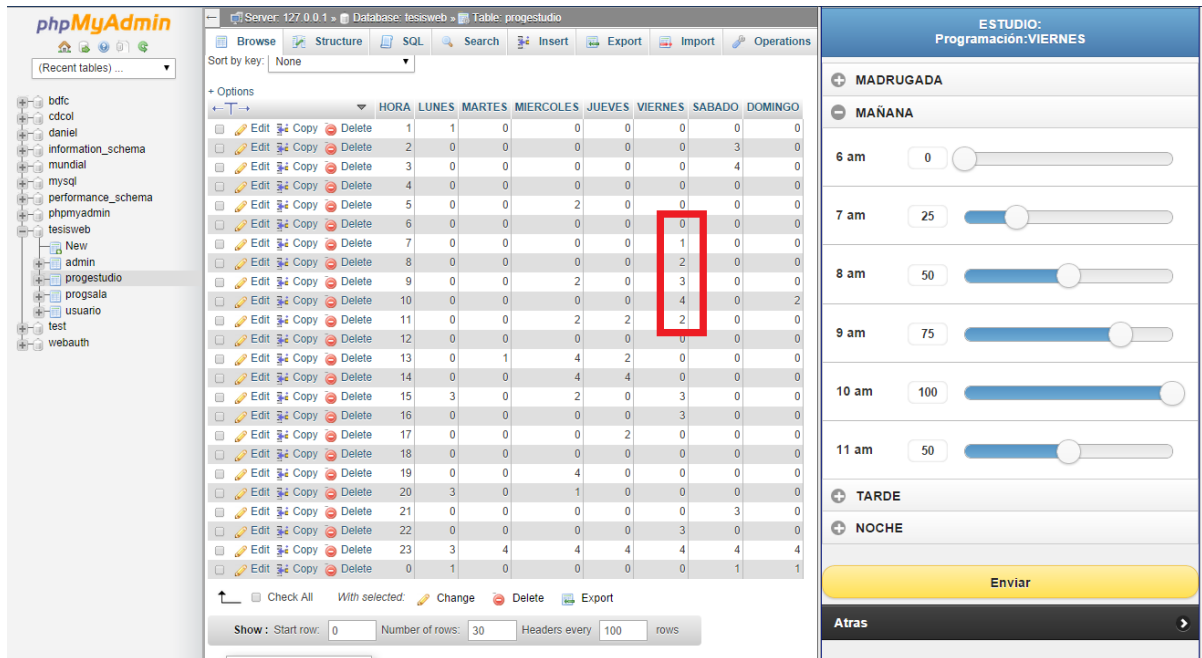


Figura 34: Comprobación de conectividad con la base de datos Mysql

#### 4.8.3 Envío automático de datos desde el servidor al circuito controlador utilizando la comunicación serial y los módulos XBEE.

Al dejar encendido el servidor central este verifica en cada segundo el valor almacenado en el servidor y automáticamente envía el byte correspondiente al circuito controlador para ajustar el nivel de iluminación, se corrobora que la información sea correcta y también respete el calendario de iluminación previamente configurado desde cualquier dispositivo móvil.

#### 4.8.4 Medición de tiempo de respuesta a acciones determinadas

Para esta prueba se midieron los tiempos de repuesta para tres eventos específicos: respuesta al envío de comandos desde la web app, tiempo de apagado cuando el sistema no detecta presencia de personas y por último el

tiempo de encendido de las luminarias cuando se detecta la presencia de personas.

Tabla 5: Medición de tiempos de respuesta

	Tiempo de respuesta a los comandos enviados desde la web app (en segundos)	Tiempo de apagado sin presencia en modo automático (en segundos)	Tiempo de encendido con presencia en modo automático (en segundos)
Medición 1	1,6	15,17	2,32
Medición 2	0,8	15,9	5,57
Medición 3	0,92	13,19	3,02
Medición 4	0,59	17,19	4,1
Medición 5	1	14,83	2,43
Medición 6	1,11	16,36	5,22
Medición 7	1,28	14,24	3,11
Medición 8	1,56	14,06	1,5
Medición 9	1,12	13,52	2,37
Medición 10	0,97	13,24	2,12
Medición 11	1,05	12,43	5,16
Medición 12	1,25	9,92	2,63
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,10</b>	<b>14,17</b>	<b>3,30</b>

## CONCLUSIONES.

La conectividad entre la aplicación web y las luminarias fue satisfactoria en el sentido que la precisión y fidelidad de los comandos enviados desde la aplicación fueron correctos, por otro lado, el tiempo de respuesta al envío de comandos directos desde la aplicación tiene un promedio de 1.1 segundos, que para efectos del proyecto es un valor aceptable teniendo en cuenta que se puede reducir este tiempo con una mejor conexión a internet (dispositivo móvil y servidor) y aumentar la frecuencia de consulta del programa en el servidor local que está ajustado en 1Hz.

Al mandar continuamente comandos por el puerto serial al XBEE a una frecuencia alrededor de 1Hz, frecuentemente pierde el envío de ciertos comandos y por esta razón la actualización de algunos estados puede tomar un tiempo mayor como se muestra en el modo automático que tiene valores más elevados de lo deseado y es lo que se va visto en las pruebas. Para el caso del encendido se desea un valor instantáneo y se tiene un valor promedio de 3,3 segundos y para el caso del apagado, el sensor de presencia está ajustado para un apagado de 10 segundos si este no detecta presencia de personas y se ha medido un apagado automático del sistema un valor promedio de 14,17 segundos, brindando una demora promedio de 4,17 segundos a lo deseado.

Se comprobó adicionalmente que los algoritmos para los tres tipos de administración (Programado, Manual y Automático) funcionan satisfactoriamente cumpliendo los objetivos específicos planteados, y que estos toman en consideración la iluminación requerida para cada hora del día utilizando los sensores de presencia y de iluminación.

La aplicación web resultó ser una interfaz de usuario eficiente debido a que se pueden tener todas las funcionalidades planteadas para este proyecto como al igual presentar un nivel de seguridad básico y también presentar un diseño moderno gracias al uso de las librerías de JQuery Mobile.

Finalmente, El sistema presenta un factor de escalabilidad adecuado, es decir, el sistema puede tener por ejemplo mayores opciones de configuración, estar instalado en una mayor cantidad de habitaciones y poder controlar otros elementos relacionados con la domótica (Seguridad, Multimedia, calefacción, etc.).



## RECOMENDACIONES.

Para mejorar el proyecto de esta tesis, se recomienda:

- Se debe integrar al sistema un circuito que tenga la capacidad de comunicarse al ROUTER del hogar, y tenga la capacidad de obtener información de internet (Base de datos en la nube), para no depender de un servidor local que debe estar prendido todo el tiempo como por ejemplo una buena opción para empezar podría ser un Raspberry Pi[31].
- Es indispensable si se desea mejorar este proyecto a un nivel industrial que las tarjetas tengan una fuente de alimentación eficiente y eficaz que se pueda instalar directamente a la corriente alterna.
- Se puede realizar un algoritmo general más complejo el cual permita tener en consideración privilegios entre el usuario en control de la interfaz y el usuario que se encuentra físicamente en la habitación.
- Con la información eléctrica que se presenta en las hojas de datos de los diversos equipos, luminarias y componentes se puede tener una aproximación del consumo eléctrico del hogar o de ciertas partes y se podría mostrar esa información en la interfaz del usuario.
- El circuito utilizado para la comunicación mediante el protocolo Zigbee, el XBEE, es un circuito muy interesante y actualmente presenta varias funcionalidades adicionales que en este proyecto no se han utilizado y podrían ahorrar algunos recursos si se utilizaran. Por otro lado si se desea solamente las funcionalidades utilizadas en este proyecto se debería diseñar un circuito con antena que utilice el protocolo Zigbee para poder reemplazar el XBEE.
- Con el incremento del desarrollo de aplicaciones para celulares inteligentes, se podrían crear aplicaciones nativas y especializadas para cada sistema operativo (PCs, Android, IOs , etc.) dando un mejor acabado para la interfaz del usuario.
- Y por último, es sumamente recomendable que al momento de hacer las instalaciones eléctricas se utilicen equipos y procedimientos de seguridad personal, ya sean guantes aislantes, escaleras desplegadas en buen estado, orden, limpieza y medias preventivas.

## FUENTES

- [1] HIDALGO ALCALÁ, Miguel Eduardo  
2007      Diseño del sistema de iluminación automatizado para una oficina en un edificio inteligente, basado en tecnología inalámbrica Zigbee. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Electrónica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería
- [2] HUAMAN CONTRERAS, Carlos  
2010      Diseño de la infraestructura de la red para un sistema de iluminación automatizado. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Electrónica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería
- [3] Tony Petersen, Peter Williams, & Anthony Mills.  
2001.      Analysis of the value of home automation systems. Facilities, 19(13/14), 522-530. Retrieved April 19, 2011, from ABI/INFORM Global.
- [4] Robles, R., & Tai-hoon, K.  
2010      Applications, Systems and Methods in Smart 2010 Home Technology: A Review. International Journal of Advanced Science & Technology, 1537-47
- [5] HASSE.NL  
2011      Zigbee, a technical overview of wireless technology  
[Consultado 23/04/2011]  
<<http://zigbee.hasse.nl/>>
- [6] ANDROID.INC  
2011      Android open source: philosophy and goals  
[Consultado 23/04/2011]  
<<http://source.android.com/about>>
- [7] ZIGBEE ALLIANCE  
2007      “Zigbee Specification” Version number r17  
[Consultado 05/05/2011]  
<<http://zigbee.org/Specifications/ZigBee/download.aspx>>
- [8] KUO, Benjamin C.  
1996      Automatic Control Systems  
séptima edición, México DF, Prentice-Hall inc
- [9] CISCO Systems, INC  
2011      Home Networking  
[Consultado 26/05/2011]  
<<http://home.cisco.com/en-us/home>>

- [10] CASADOMO  
2002                      Tecnologías de domótica y hogar digital  
[Consultado 26/05/2011]  
<[www.casadomo.com](http://www.casadomo.com)>
- [11] Digi International Inc  
2012                      About Zigbee  
[Consultado 13/12/2012]  
<<http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>>
- [12] FALAUDI, Robert  
2010                      Building Wireless Sensor Networks  
O'Reilly Media, Inc
- [13] MEM  
1982                      Norma de alumbrado de interiores y campos deportivos  
Ministerio de energía y minas
- [14] OSRAM  
2008                      Catálogo de luz Osram  
Osram
- [15] Digi International Inc  
2009                      Xbee ad Xbee PRO datasheet  
[Consultado 05/11/11]  
<[www.digi.com](http://www.digi.com)>
- [16] ATMEL  
2011                      Atmel Microcontroller  
(Atmega48/V, ATmega88/V, ATmega168/V) Datasheet
- [17] PHP  
2012                      Manual de Uso de PHP  
[Última consulta 9/12/12]  
<<http://php.net/manual/es/>>
- [18] MySQL  
2012                      Manual MySQL 5.5  
[última consulta 9/12/12]  
<<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.5/en/index.html>>
- [19] Cobo Romaní, Cristóbal y Pardo Kuklinski, Hugo.  
2007.                      Planeta Web 2.0. Inteligencia colectiva o medios fast food.  
Grup de Recerca d'Interaccions Digitals, Universitat de Vic.  
Flacso México. Barcelona / México DF.

- [20]JQUERRY MOBILE  
2014  
Interfaz basado en HMTL5 para dispositivos móviles  
[Última consulta 27/06/14]  
<www.jquerrymobile.com>
- [21]BUILDING MOBILE APLICACION  
2012  
Curso Online para la creación de aplicaciones móviles  
[Última consulta 19/08/14]  
<http://cs76.tv/2012/spring/>
- [22]BTICINO  
2014  
Discover My Home Automation System  
[Última consulta 21/08/14]  
<http://www.bticino.com/assets/Uploads/Home%20Autom  
ation%20-%20MyHOME%20automation.pdf>
- [23]BTICINO  
2014  
Complete Guide My Home Automation System  
[Última consulta 21/08/14]  
<http://www.bticino.com/assets/Uploads/complete-guide.pdf>
- [24]BTICINO  
2014  
Axolute My Home System  
[Última consulta 21/08/14]  
<http://www.bticino.com.pe/catalogos/book/axolute\_my\_home-/>
- [25] SMART HOUSE PERU  
2014  
Control de Iluminación  
[Última consulta 22/08/14]  
<http://www.smarthouseperu.com>
- [26] A.J. Bernhim Brush, Bongshin Lee, Ratul Mahajan, Sharad Agarwal , Stefan Sarou  
and Colin Dixon  
2011  
Home Automation in the Wild:  
Challenges and Opportunities. Microsoft Research,  
University of Washington
- [27]DL Loe  
2009  
Energy efficiency in lighting. Consideraions and  
possibilities, Lighting Res. Technol; 41: 209-218.
- [28] Kshusvinder Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao and Xin Lu  
2009  
A Zigbee-Based Home Automation System  
IEEE Transactions on Cosumer Electronics, Vol 55, No 2.
- [29] MOZER, Michael C.  
2011  
Lessons from an Adaptive Home, University of Colorado
- [30] David J. Malan & Dan Almendariz.  
2012.  
Building Mobile Application.Lecture 0, Computer Sciencie  
E-76, Harvard Extension School.  
[Última consulta 23/09/12]  
<cs76.tv/2012/spring/>

[31] RASPBERRY PI  
2014

What is a Raspberry PI?  
[Última consulta 03/10/14]  
<[www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)>

[32] IBERICO ACOSTA, Roberto  
2010

Diseño de un sistema de seguridad basado en una red actuador – sensor Zigbee con soporte en la Wlan de un edificio de departamentos.  
Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Electrónica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería

