

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Sistema IOT de control y monitoreo de luz eléctrica mediante sensores de movimiento para disminución de consumo energético en laboratorios de GICOM y Propagación en la ESPOL.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presentado por:

María Isabel Larrea Maridueña

Yoderth Orlando Chávez Reyes

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Llena de felicidad dedico esta tesis con todo mi amor a mi madre Olimpia Maridueña quien con esfuerzo y amor supo educarme. Tu ayuda ha sido sumamente importante, ya que estuviste apoyándome en todas las situaciones, ya que, a pesar de no ser un camino fácil, me motivaste a seguir adelante para poder culminar esta carrera.

Me ayudaste hasta donde te era posible, incluso más que eso.

También lo dedico a mi hermana Verónica Larrea, por estar presente en todos los momentos que se han suscitado en este largo viaje, gracias por confiar siempre en mí.

María Isabel Larrea Maridueña

Este proyecto está dedicado a mi familia. De manera especial y a su vez con toda mi gratitud a mis amados padres, Orlando Chávez y María Reyes, por navegar conmigo en la dificultad y en la belleza de este mundo, por los valiosos consejos, por las palabras de aliento. A mis hermanos Carla y Yandry por el constante apoyo para culminar este camino, por enseñarme con sus ejemplos que el trabajo duro es sinónimo de recompensa.

Yoderth Chávez Reyes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ayudarme a ser valiente en todas las situaciones que suscitaron durante la realización de este proyecto. Este proyecto ha sido una gran bendición y gracias a ti se pudo llegar a cumplir esta meta.

A mi madre que, con amor, dedicación y brindándome sus más sabios consejos, me educó y apoyó con su amor infinito durante mi formación personal. Gracias por ser la mujer más tierna que siempre vela por su familia y lo da todo por nosotras.

A mi hermana, por ser una amiga durante toda mi vida, que junto a sus ideas hemos conseguido hitos que nos han llevado a este logro.

A David, por su apoyo incondicional durante mis últimos años de estudio, por compartir tantos momentos y demostrarme que siempre podré contar con él.

María Isabel Larrea Maridueña

Agradezco principalmente a Dios por la guía durante este viaje, por la fortaleza que me ha brindado para poder culminarlo. A mis padres Orlando Chávez y María Reyes por ser mis maestros, mis amigos y mis consejeros durante mi vida, a mi hermana Carla, gracias por todo el apoyo brindado, por ser tan comprensiva, incluso en esos momentos irracionales y emocionales, a mi hermano Yandry, por mostrarme las cosas que puedo hacer, por las lecciones de vida. También quiero agradecer a dos personas con las que me encontré durante este trayecto y hoy forman parte de este logro, a Yngrid Piguave y Carlos Estrada gracias por todo el respaldo brindado, a mis familiares y amigos que con una voz de aliento supieron impulsarme durante esta ardua travesía. Precipuamente gracias a la ESPOL por dejarme tantos recuerdos que atesoraré el resto de mi vida.

Yoderth Chávez Reyes.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; María Isabel Larrea Maridueña y Yoderth Orlando Chávez Reyes y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



Ma. Isabel Larrea
Maridueña

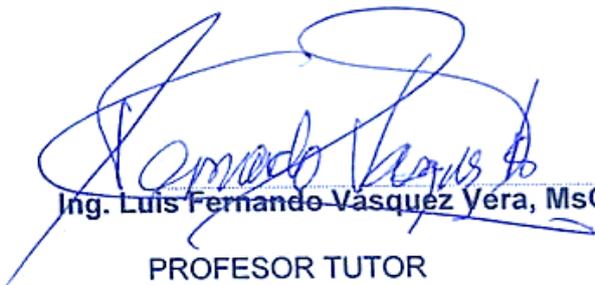


Yoderth Orlando
Chávez Reyes

EVALUADORES

Ph.D. Francisco Vicente Novillo Paraes

PROFESOR DE LA MATERIA


Ing. Luis Fernando Vasquez Vera, MsC.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este proyecto examina el potencial ahorro de energía eléctrica en la Escuela Superior Politécnica del Litoral con especial referencia en sus aulas y laboratorios, por medio de un prototipo de un dispositivo de ahorro de energía eléctrica mediante sensores de movimiento de radar y comunicación entre dispositivos LoRaWAN por medio de la tecnología LoRa.

LoRaWAN es muy usado en aplicaciones de Internet de las Cosas, en este proyecto presentamos un dispositivo de ahorro de energía dentro de una red IOT para monitorear el estado de luminarias para mejorar su uso y funcionamiento para el ahorro de consumo eléctrico, la información de este sistema es procesada con el propósito de la toma de decisiones y control.

Los perfiles de consumo y costos de electricidad durante los últimos años dentro de las instalaciones de la Universidad indican un aumento constante atribuible al desarrollo de la infraestructura, el aumento de estudiantes, el uso preponderante y muchas veces inconsciente de las instalaciones con respecto al cuidado del consumo de la energía.

Se elaboro un prototipo para demostrar la eficacia del dispositivo. Los resultados nos evidencian que el sistema de ahorro energético nos permite dirigir con éxito las luminarias dentro de las aulas y laboratorios dentro del campus Gustavo Galindo de la ESPOL.

Palabras Clave: Sensor, LoRaWAN, movimiento, luminarias, electricidad, sistema, potencial ahorro.

ABSTRACT

This examines the potential the potential saving of electrical energy in the Escuela Superior Politécnica del Litoral with special reference in its classrooms and laboratories, through a prototype of an electrical energy saving device through radar movement sensors and communication between LoRaWAN devices through of LoRa technology.

LoRaWAN is widely used in Internet of Things applications, in this project we present an energy saving device within an IOT network to monitor the status of luminaries to improve their use and operation to save electricity consumption, the information from this system is processed for the purpose of decision making and control.

The consumption profiles and electricity costs during the last years within the University facilities indicate a constant increase attributable to the development of the infrastructure, the increase in student, the preponderant and often unconscious use of the facilities with respect to the care of the energy consumption.

A prototype was made to demonstrate the effectiveness of the device. The results show us that the energy saving system allows us to successfully direct the luminaries inside the classrooms within the Gustavo Galindo campus of ESPOL.

Keywords: Sensor, LoRaWAN, movement, lighting, electricity, system potential savings.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN.....	VIII
<i>ABSTRACT</i>	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
Glosario	XII
SIMBOLOGÍA	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2. Justificación del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo General	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
1.2 Propuesta de solución	4
1.3 Metodología	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Lora y LoRaWAN.....	6
2.2 Clases LoRaWAN.....	6
2.3 Tasa de transmisión de datos.....	7
2.4 Escalabilidad.....	7
2.5 Tasa de Codificación	8

2.6	Poder de Transmisión.....	8
2.7	Sistema de Iluminación.....	8
CAPÍTULO 3.....		11
3.	Diseño e Implementación.....	11
3.1	Especificación de los componentes del dispositivo	12
3.1.1	Sensor de movimiento RCWL 0516	12
3.1.2	Módulo LoRaWAN V2.1 LILYGO TTGO	13
3.1.3	Puerta de enlace LoRa.....	14
3.1.4	Nodos de monitoreo	14
3.1.5	Transmisión y recepción de los datos con LoRaWAN.....	15
3.1.6	Elección del servidor para la red LoRaWAN	16
CAPÍTULO 4.....		17
4.	Pruebas y Resultados	17
4.1	PRUEBAS.....	18
4.2	RESULTADOS	19
4.2.1	Lecturas durante la primera hora encendido	20
4.2.2	Lecturas durante la segunda hora encendido	21
4.2.3	Lecturas durante cuatro horas encendido	22
4.2.4	Lecturas durante nueve horas encendido	23
4.2.5	Valores de consumos eléctricos KW/h	24
CAPÍTULO 5.....		28
5.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	28
5.1	CONCLUSIONES	28
5.2	RECOMENDACIONES.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....		30
ANEXO		33

GLOSARIO

ADR	Adaptive Date Rate (Velocidad de Datos Adaptativa)
ACK	Acknowledgement (Mensaje de Respuesta)
BIT	Binary Digit (Digito Binario)
BW	Bandwidth (Ancho de Banda)
DR	Data Rate (Velocidad de Datos)
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FEC	Forward Error Correction (Corrección de Errores hacia Adelante)
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
GICOM	Grupo de Investigaciones en Comunicaciones Móviles
IDE	Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado)
IOT	Internet Of Things (Internet de las Cosas)
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz)
LORA	Lora Range (Largo Alcance)
MAC	Media Access Control (Control de Acceso a Medios)
OLED	Organic Light Emitting Diode (Diodo Orgánico de Emisión de Luz)
PIR	Passive Infra Red (Sensor Infrarrojo Pasivo)
SF	Spread Factor (Factor de Propagación)
TP	Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia)
WIFI	Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica)
WEB	World Wide Web (Red Global)

SIMBOLOGÍA

dB	Decibelio
dBm	Decibelio-milivatio
cm	Centímetro
MHz	Megahercio
mm	Milímetro
kWh	Kilovatio hora
V	Voltio
W	Watt (Vatio)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Diagrama de bloques.....	11
Figura 3.2. Sensor de movimiento RCWL-0516.....	13
Figura 3.3. Módulo LoRaWAN V2.1 LILYGO TTGO.....	13
Figura 3.4. Nodos de Monitoreo.....	15
Figura 3.5. Proceso de la transmisión y recepción de datos.....	16
Figura 4.1. Prototipo del dispositivo.....	17
Figura 4.2. Pruebas realizadas durante la primera hora.....	20
Figura 4.3. Pruebas realizadas durante la segunda hora.....	21
Figura 4.4. Pruebas realizadas durante cuatro horas.....	22
Figura 4.5. Pruebas realizadas durante nueve horas.....	23
Figura 4.6. Valores de consumo mensual.....	27
Figura Anexo 1. Pruebas iniciales del sensor de movimiento.....	39
Figura Anexo 2. Pruebas iniciales de los módulos LoRaWAN.....	39
Figura Anexo 3. Pruebas de recepción de datos.....	40
Figura Anexo 4. Pruebas de transmisión de datos.....	40
Figura Anexo 5. Pruebas del servidor de las luminarias.....	40
Figura Anexo 6. Sistema ahorrador de energía.....	41

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

A medida de los crecimientos que tienen las universidades en ecosistemas de los países en economías en desarrollo, estas tienden a ser contribuyentes al agravamiento de la demanda general de electricidad. Los grandes campus universitarios pueden compararse con pequeñas ciudades, por lo que el consumo asociado dentro de las instalaciones de los campus universitarios, son considerados representativamente la mayor parte de consumo total de electricidad urbana [1].

Las instituciones de educación superior del Ecuador mantienen un problema en común con respecto a los elevados gastos del consumo de energía eléctrica. Las posibles razones de este inadecuado uso pueden recaer sobre el mal comportamiento de los usuarios, al usar en muchos casos este servicio de forma inconsciente y también muchas veces debido a la inapropiada instalación de tecnologías en la infraestructura eléctrica dentro de las universidades [2].

El despilfarro de energía eléctrica tiene enormes consecuencias económicas y medioambientales ya que al mantener las luminarias de las aulas encendidas cuando no se necesitan es un desperdicio, la responsabilidad ambiental requiere eficiencia y conservación de la energía, ya que la iluminación es la responsable de al menos una cuarta parte del consumo de electricidad en todo el mundo [3].

Para reducir los costos se plantea una solución a través de un prototipo de un sistema inteligente de ahorro de energía eléctrica, que detecta el movimiento de las personas dentro de los laboratorios de Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles (GICOM) y el laboratorio de Radiofrecuencia los cuales pertenecen a la FIEC.

1.1 Descripción del problema

Hoy los recursos energéticos se consumen con mayor rapidez, debido al uso indiscriminado por parte de las personas con poca conciencia ambiental [4]. Un gasto común se da en las instalaciones eléctricas se da dentro del campus de la Escuela Superior Politécnica del Litoral debido al descuido de las personas en apagar las luminarias que llegan a consumir importantes cantidades de energía al estar encendidas sin que se les esté dando un uso adecuado, lo cual genera altos gastos económicos mensuales en las facturas de consumo de energía eléctrica.

La diversidad de los usos finales que se le da a la electricidad dentro de la universidad puede considerarse tan importante como en una ciudad donde están presentes los usos residencial, comercial e incluso industrial, esto debido a la gran cantidad de laboratorios que posee la ESPOL, por lo tanto, la gestión ambiental es una preocupación creciente para las instituciones de educación superior.

La conservación de la electricidad dentro de los campus se ha convertido en un muy importante tema de las universidades a nivel mundial en busca de garantizar la conservación y sostenibilidad [5]. Por ende, existe la importancia central buscar, destacar y recomendar las técnicas más rentables, para así poder conservar la electricidad dentro de las universidades [6].

El costo financiero que produce el gasto indiscriminado de electricidad debido a las luminarias dentro de aulas y laboratorios en el campus cuando no están siendo utilizadas es relativamente alto, ya que las universidades en la actualidad cuentan con niveles significativos de uso de energía [7]. Con el creciente interés por parte de la población hacia la reducción del consumo de electricidad es probable que el resto de las universidades del país adopten cada vez más el ahorro del consumo energético.

1.2. Justificación del problema

Desde la revolución industrial, el uso de la energía por parte de la población humana ha aumentado a un ritmo acelerado [8]. Sin embargo, el uso creciente de la población conlleva asimismo al uso creciente de energía eléctrica por parte de la sociedad, esto conlleva a tener consecuencias ambientales negativas [9].

La consecuencia ambiental más generalizada y así también la más nociva de la combustión de combustibles fósiles es la producción del dióxido de carbono, un gas que afecta el balance de calor global y que contribuye al calentamiento global [9].

Además de las consecuencias ambientales, aumentar el uso de energía es costoso [10]. En los países desarrollados, las universidades pagan habitualmente grandes cantidades de dinero [11], algo que no se aleja de nuestra realidad. Mejorar la eficiencia energética implica reducir los problemas ambientales locales y regionales relacionados con la energía y esta adopción generalizada de medidas de eficiencia energética resultara en importantes reducciones en las emisiones de dióxido de carbono a escala nacional y mundial [12].

La ESPOL cuenta con un gran problema al consumir grandes cantidades de energía eléctrica que en su mayoría no es aprovechada, sino más bien malgastada por la ineficiente utilización de los recursos, provocados por el indebido de los integrantes de la comunidad politécnica.

La elaboración de este proyecto busca crear una alternativa que permita evitar el uso indebido de recursos eléctricos, La ESPOL cuenta con ocho facultades dentro del campus Gustavo Galindo, lo cual genera muchos gastos económicos en pagos de energía eléctrica. Implementar este sistema en las luminarias de las aulas y laboratorios permitirá a las autoridades de la universidad poder disminuir los gastos mensuales en consumo eléctrico y así poder destinar dichos fondos en otros gastos que se generen dentro de la institución.

1.3. Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Diseñar un prototipo de un sistema inteligente de monitoreo de energía que nos permita controlar el estado de las luminarias.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Implementar un sistema de adquisición de datos, con el propósito de monitorearlos mediante una aplicación móvil para tener un control medido de acción.
- Recopilar datos para estudios posteriores sobre el ahorro significativo de energía eléctrica al implementar el sistema propuesto.

1.2 Propuesta de solución

Se estableció una solución al problema planteado a través del diseño de un sistema que nos permita ahorrar energía eléctrica usando un radar RCWL-0516 que detecta la presencia de las personas dentro del laboratorio de GICOM y de propagación mediante el movimiento de estos. Este radar funciona bajo el efecto Doppler el cual le da mayor precisión al detectar movimiento, así como a distancias más lejanas. Así al no registrar movimientos apagarán las lámparas en las áreas establecidas, para luego a través de un servidor usando tecnología LoRaWAN, subir y observar el estado actual de las luminarias donde se haya instalado el sistema mediante una aplicación que funcionará como receptor que nos permita modificar el estado de dichas luminarias en caso de encontrar una luminaria encendida en horarios en los que no se encuentre personal en los laboratorios.

El diseño del sistema permite al usuario ahorrar energía eléctrica mediante un circuito de bajo presupuesto. El cual utiliza un sensor de movimiento y un sistema LoRaWAN, para la transmisión del estado encendido/apagado del foco al servidor.

1.3 Metodología

Se investigó que los recursos se malgastan en cantidades excesivas al mantener luminarias encendidas sin necesidad de que alguna persona las esté usando, en el caso de la ESPOL, no cuenta con el cuidado del personal administrativo o de los estudiantes de apagar las luminarias al salir de las aulas o laboratorios, por lo que se mantienen innecesariamente encendidas por tiempos prolongados, por lo que se decidió con el presente proyecto focalizar un sistema automático que permita ahorrar energía apagando las luminarias de las áreas que no cuenten con personas que formen parte de la comunidad politécnica.

Se escogió el radar RCWL-0516 debido a que cuenta con mayor sensibilidad al momento de detectar personas en comparación a los sensores detectores de movimiento comunes, ya que mediante el efecto Doppler para microondas le permite no solo aumentar la distancia, sino que detecta en 360°, es decir no cuenta con punto ciego.

También se usará un módulo ESP32 LoRa el cual ofrece mayor cantidad de ventajas sobre los módulos de transmisión comunes, ya que es más tolerante a las interferencias que se generen en los entornos donde se implementará el sistema, además que tiene mayor sensibilidad para recibir y enviar datos lo cual permite que transmita a mayores distancias.

En la plataforma web Arduino IOT Cloud se creará el código que permita apagar las lámparas en caso de que no haya nadie en el laboratorio, a su vez subir el estado actual de las luminarias a través de un servidor que por medio de la tecnología LoRa, podremos visualizar el estado de estas en una aplicación que nos permitirá controlar el estado, es decir que podemos encender o apagar las luces.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se pormenorizará las especificaciones sobre el desarrollo e implementación del proyecto descrito, además de contener partes principales del porque se hace uso de ciertas tecnologías para el desarrollo de este dispositivo y la importancia de las técnicas utilizadas para la creación del prototipo.

2.1 Lora y LoRaWAN

La tecnología LoRa se divide en tres partes: la capa física, la capa MAC del protocolo y la arquitectura de red, llamada LoRaWAN. La capa física puede operar diferentes bandas de frecuencia como 433, 868 o 915 MHz. En la capa física la modulación de espectro ensanchado y las técnicas de corrección de errores se utilizan para crear comunicaciones robustas contra el ruido y la interferencia con el fin de aumentar la sensibilidad del receptor [13].

Las puertas de enlace están conectadas al servidor central. Las puertas de enlace solo son responsables de enrutar paquetes desde los nodos finales al servidor en formato sin formato. El servidor LoRa es responsable de enviar paquetes de enlace descendente a los dispositivos si es necesario [14].

2.2 Clases LoRaWAN

En cuanto a los nodos finales de una red LoRaWAN el estándar define tres clases. La clase A es compatible con casi todos los dispositivos porque ofrece un mayor ahorro de energía, ya que solo entra en modo de escucha después de enviar datos a la puerta de enlace, lo que es ideal para dispositivos que utilizan una batería como fuente de alimentación [15].

En la clase B, los dispositivos tienen ventanas de recepción que se basan en tiempos predeterminados con la puerta de enlace. Actualmente, algunos servicios ofrecen esta implementación [16].

La clase C ofrece un menor ahorro energético porque los nodos están siempre en modo escucha y solo cuando es necesario cambian su modo a modo transmisión, normalmente utilizado en dispositivos que disponen de una fuente de alimentación [17].

2.3 Tasa de transmisión de datos

Una característica esencial de LoRaWAN es el esquema ADR que busca minimizar el uso de la batería y maximizar el rendimiento al alterar la tasa de datos y el TP para cada nodo final en la red LoRa. La adaptación de la rapidez de datos en LoRaWAN permite una fácil escalabilidad de la red mediante de la adición de puertas de enlace. Además, el uso de ADR aumenta significativamente la capacidad de dicha red, ya que los paquetes de datos que se transfieren utilizando diferentes SF ortogonales y pueden transmitirse simultáneamente [18].

2.4 Escalabilidad

En las redes LoRa, el control ADR está habilitado para mantener la conectividad de la red al proporcionar numerosas velocidades de transmisión de datos. La condición de datos de RF determina a través del estado de recepción del paquete ACK en LoRaWAN a través de errores de enlace. Sin embargo, esto no indica una red congestionada, pero puede resultar en ineficiencias en la transmisión de datos debido a los largos retrasos en la transmisión. Dado que la congestión no se considera un problema de conectividad, la disminución de la tasa de datos mediante la sustitución del sistema de modulación inapropiada [18].

2.5 Tasa de Codificación

LoRa utiliza la codificación de errores FEC para mejorar la solidez de la conexión inalámbrica. Este tipo de codificación de errores da como resultado bits que está controlada por el parámetro CR. El modem LoRa utiliza CR para brindar una mayor protección contra ráfagas de interferencia y errores de codificación. LoRa permite que la configuración de CR sea de 4/5, 4/6, 4/7 o 4/8. Establecer un valor alto de CR implica que hay más bits de corrección de errores que brindan una mejor protección para los datos transmitidos. Sin embargo, en el lado negativo, aumenta el TOA, lo que a su vez reduce la duración de la batería. Los receptores que varían CR y mantienen constantes SF y BW, todavía pueden comunicarse entre ellos utilizando un encabezado explícito, ya que el CR de la carga útil reside en el encabezado del paquete, que esta codificado en CR 4/5 por defecto [18].

2.6 Poder de Transmisión

En las redes LoRaWAN, la potencia esencial para la transmisión de un paquete de datos es ajustable según convenga. Reducir la potencia de transmisión ahorrará batería, pero acortará el alcance de la señal y viceversa. La radio LoRa es ajustable de -4 dBm a 20 dBm en muescas de 1 dB. Sin embargo, en las implementaciones de la vida real, el rango de TP suele estar restringido entre 2 dBm y 20 dBm debido a las limitaciones del hardware. Además, si se experimentan niveles de TP superiores a 17 [dBm], solo puede utilizar un ciclo de trabajo del 1 % [18].

2.7 Sistema de Iluminación

Los sistemas de iluminación inteligente combinan dispositivos LED inteligentes, con sensores de movimiento, para detectar cuando hay o no personas dentro de un lugar, también cuentan con controles inalámbricos con el objetivo de poder administrar remotamente las instalaciones, en muchos casos incluso ajustar fácilmente la configuración de la iluminación al antojo del cliente, pudiendo así también obtener datos desde una

plataforma web sobre el uso del consumo energético y uso de la iluminación dentro de aulas de instituciones educativas [19].

Al poder hacer uso de tecnología de comunicación inalámbrica, ya no es necesario utilizar el cableado para transmitir los datos existentes, esto hace que la implementación sea mucho más flexible, muchos de estos proyectos son realizados con sensores de movimiento los cuales son dispositivos electrónicos que están diseñado para detectar y medir el movimiento.

Existen varios tipos de sensores entre ellos tenemos a los sensores ultrasónicos activos y los sensores infrarrojos pasivos los cuales llegan a ser los más comunes y usados dentro de proyectos de este ámbito. Los sensores infrarrojos activos emiten las ondas de radio ultrasónicas a una baja frecuencia por encima del rango del oído humano, estas ondas rebotan en objetos en las inmediaciones y regresan al sensor de movimiento. Un transductor dentro del sensor actúa como punto de referencia para la señal, envía el pulso y recibe el eco. El sensor determina la distancia entre él y el objetivo midiendo el tiempo entre el envío y la recepción de la señal. La mayoría de los sensores de movimiento permiten configurar la sensibilidad, lo que significará que no se activará si la distancia al objeto es demasiada grande [20].

Los sensores infrarrojos pasivos detectan fluctuaciones en la energía infrarroja, que los humanos, los animales y los objetos liberan en forma de calor. Los sensores PIR son un poco más complejos que los sensores ultrasónicos activos, pero su resultado es similar. Las paredes, los pisos, las escaleras, las ventanas, las personas irradian cierta cantidad de calor, las ondas infrarrojas pueden detectar la presencia de una persona u objeto al detectar el cambio de temperatura en un área determinada.

Los sensores de movimiento de microondas emiten pulsos de microondas. Al igual que un sensor ultrasónico activo, las microondas rebotan en los objetos y regresan al sensor. De hecho, cubren un área más grande que los sensores PIR, pero son más susceptibles a interferencias electrónicas [21].

CAPÍTULO 3

3. Diseño e Implementación

Para el diseño del sistema ahorrador de energía se consideró crear un dispositivo de fácil instalación en los circuitos eléctricos, ya que se busca optimizar recursos con la finalidad de evitar gastos de desmontaje de cableados o luminarias.

El diseño del sistema permite al usuario ahorrar energía eléctrica mediante un circuito de bajo presupuesto. El cual utiliza un sensor de movimiento y módulos LoRaWAN, para la transmisión de datos, así como para el control del encendido/apagado del foco hacia el servidor.

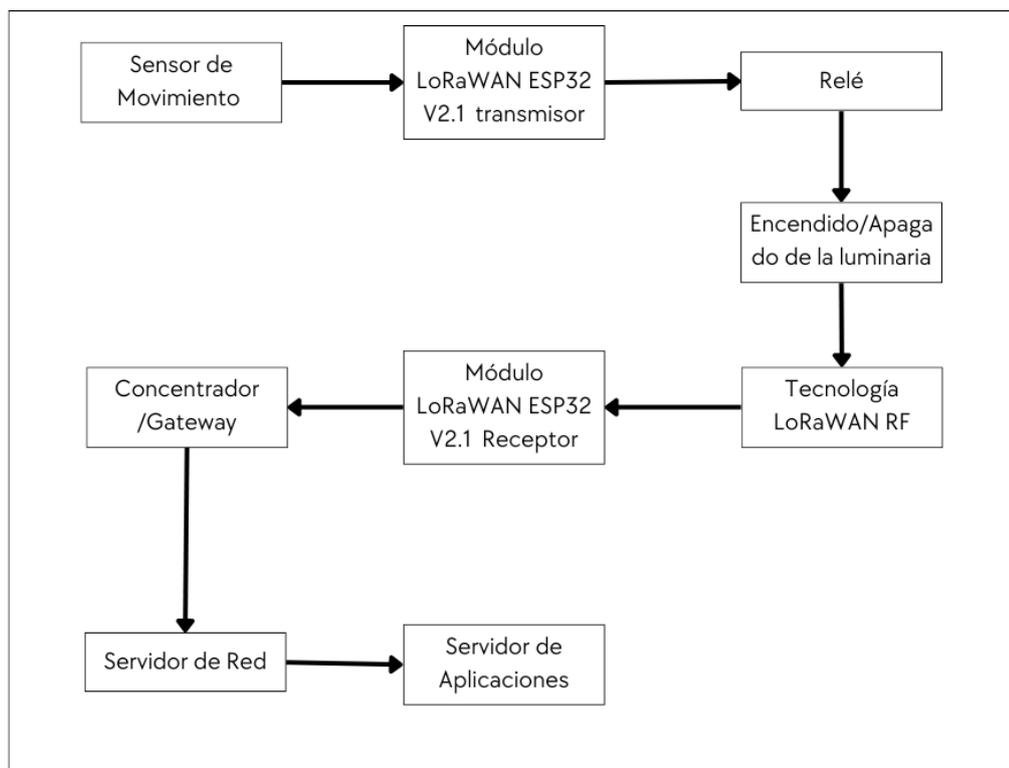


Figura 3.1. Diagrama de bloques.

La elaboración de este prototipo ha sido realizada según como se muestra en la figura 3.1 la cual corresponde a su respectivo diagrama esquemático. Se pueden observar las conexiones de los dispositivos a usarse, el diagrama esquemático representa dos partes del prototipo del proyecto ya que se encuentran separados, esto porque habrá transferencia de datos a distancia desde el circuito usado como transmisor de datos hacia el circuito realizado que cumplirá la función de receptor.

3.1 Especificación de los componentes del dispositivo

Para la elaboración de este proyecto es necesario el uso de varios componentes, los cuales son un sensor tipo RCWL-0516 que funciona como un radar de microondas con efecto Doppler, este sensor será el encargado de detectar el movimiento de las personas dentro de los laboratorios de GICOM y Propagación de la ESPOL, el sensor también enviará datos hacia un módulo LoRaWAN V2.1 LILYGO TTGO, este componente medirá el flujo de los datos que recibe a través del sensor y funcionara como el transmisor del sistema IOT, otro dispositivo LoRaWAN V2.1 LILYGO TTGO que funcionara como receptor así conectándose con el servidor para el almacenamiento de los datos.

3.1.1 Sensor de movimiento RCWL 0516

El sensor RCWL-0516 es un sensor de movimiento de microondas de radar Doppler, mostrado en la figura 3.2. Basado en el efecto Doppler, el cual tiene un rango de sensibilidad de siete metros [21].

El sensor de microondas tiene varias ventajas sobre otros métodos de detección. Puede detectar objetos en movimiento detrás de paredes delgadas y detrás de otros materiales como la madera [21]. Puede funcionar desde el interior de un envoltorio, lo que significa que puede guardarse en un estuche resistente al agua y permanecer seco y seguro. En este proyecto será usado para detectar la presencia de personas que ingresan o salen de las aulas de los laboratorios de la ESPOL.

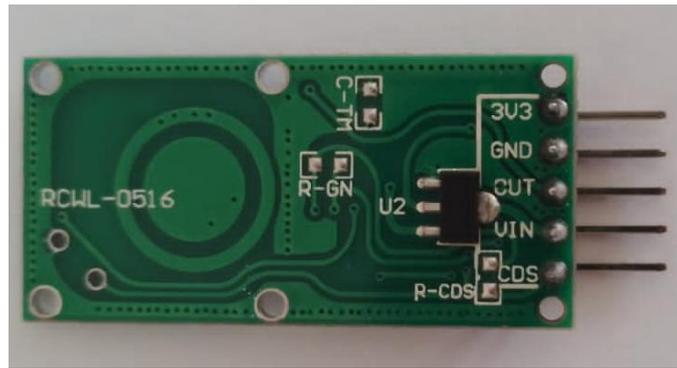


Figura 3.2. Sensor de movimiento RCWL-0516.

3.1.2 Módulo LoRaWAN V2.1 LILYGO TTGO

El módulo es una placa de desarrollo basado en el ESP32 que cuenta con un chip LoRa integrado y una pantalla OLED el cual nos servirá para el envío de paquetes de datos de manera bidireccional a grandes distancias, la pantalla OLED es de 128x64 píxeles, cuenta con un conector micro USB el cual sirve para la alimentación y la programación desde el IDE de Arduino o Micro Python, para este proyecto su programación ha sido realizada desde el IDE de Arduino, es un módulo usualmente usado para aplicaciones de IOT, por ende nos permite controlar el sensor y enviar datos mediante la tecnología lora, la pantalla OLED que viene integrada en el circuito nos permite evitar el cableado usualmente usado en este tipo de proyectos.

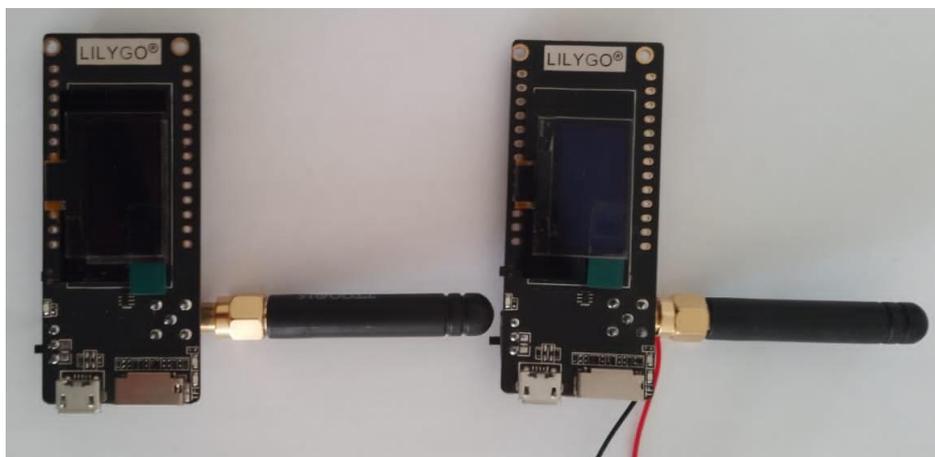


Figura 3.3. Módulo LoRaWAN V2.1 LILYGO TTGO.

En la figura 3.3. Se muestran ambos módulos LoRaWAN V2.1, este último será usado como receptor para los datos enviados desde el dispositivo Lora que recoge los datos del sensor de movimiento.

3.1.3 Puerta de enlace LoRa

Existe una gran variedad de puertas de enlace para escoger en la actualidad, entre estas variedades, se llega a notar la cantidad de canales existentes, el valor de estas, y si son interiores o exteriores. Con respecto a los canales LoRa, una puerta de enlace con un solo canal, tendrá un solo canal para recibir datos de los nodos, mientras que, una puerta de enlace de doble canal tiene dos canales, uno para enlaces ascendentes y otro a su vez para enlaces descendentes. Por último, las puertas de enlace multicanal tienen ocho canales para enlaces ascendentes, y un canal adicional para la transmisión de enlaces descendentes.

Al abrir la puerta de enlace LoRa, se consideran dos características principales, la necesidad de soporte de enlaces descendentes, para que los mensajes puedan confirmarse una vez que los mensajes son admitidos. Los enlaces descendentes también son necesarios para cambiar de forma remota la configuración del nodo, como la frecuencia de transmisión [22].

3.1.4 Nodos de monitoreo

Como se observa en la figura 3.4 los nodos que existen para poder monitorear los datos los cuales servirán para observar las métricas establecidas por el proyecto, estos nodos se encontrarán; uno en el laboratorio de Propagación de la ESPOL y el otro en el laboratorio del Grupo de investigación en comunicaciones móviles. Una de las métricas a considerar es el monitoreo del flujo de personas cuando ingresan a uno de estos laboratorios para así saber cuándo estas instalaciones se encuentran vacías, y así poder ahorrar energía eléctrica cuando no estén en uso.

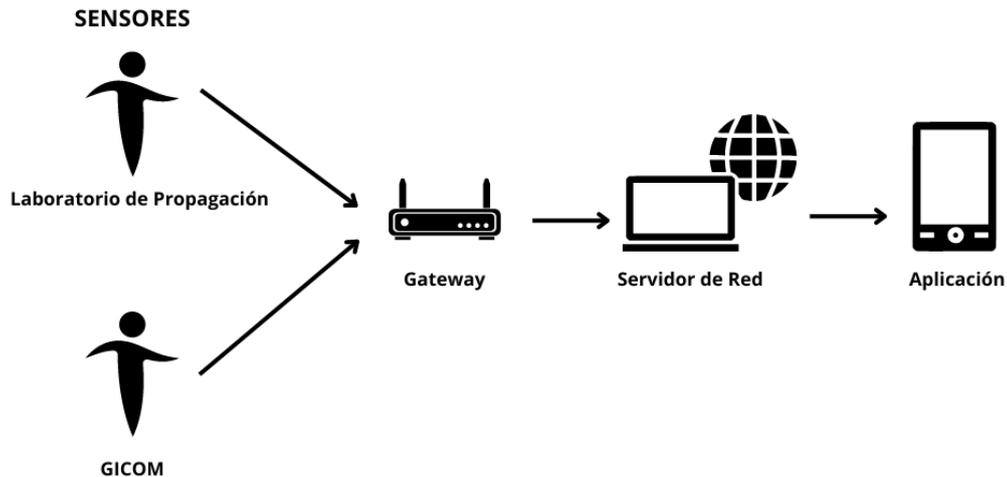


Figura 3.4. Nodos de Monitoreo.

3.1.5 Transmisión y recepción de los datos con LoRaWAN

Mediante el protocolo LoRaWAN de red amplia y bajo consumo elaborado mediante técnica LoRa, se procede a conectar el sensor de movimiento hacia este módulo, como se indica en la figura 3.4. Una vez realizada la configuración del sensor de movimiento RCWL-0516 hacia el módulo LoRaWAN V2.1, posteriormente este dispositivo se conectará de forma inalámbrica hacia el otro módulo de LoRaWAN V2.1 que hará el papel de receptor de datos, esta tecnología conecta de forma sin hilos a internet.

Por ende, en el proyecto se utilizan dos dispositivos LoRaWAN V2.1 una como transmisor conectado al sensor de movimiento RCWL-0516 y la otra como receptor, el dispositivo que actúa como transmisor enviará un paquete LoRa con un mensaje basado en cadenas cada vez que se detecte movimiento dentro de las aulas, cuando el receptor recibe el paquete, al ser procesado, realiza la comparación del código a utilizarse para la detección, este flujo de datos es ejecutado y evaluado en la nube.

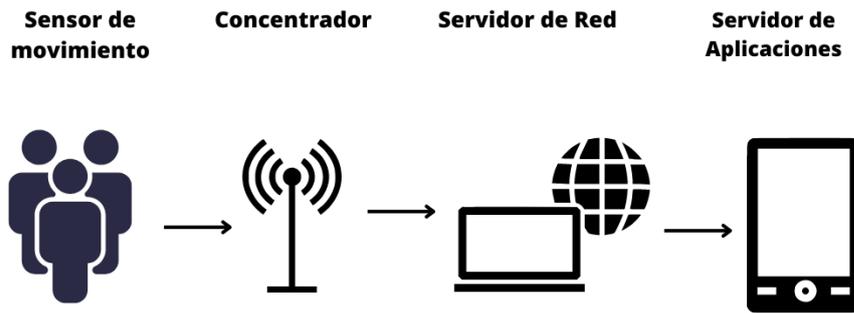


Figura 3.5. Proceso de la transmisión y recepción de datos.

3.1.6 Elección del servidor para la red LoRaWAN

Para la selección del tipo del servidor usado para la red de LoRaWAN se hará uso de una implementación de un servidor que proporciona el software para las funciones requeridas para que LoRaWAN trabaje, en consecuencia, obtenga el puente de puerta de enlace LoRa (paquete de reenviador), el servidor de red LoRaWAN. La plataforma para usar es Arduino IOT Cloud el cual es una plataforma en línea que nos sirve para la implementación y el monitoreo del proyecto, además nos permite tener una solución para la escritura del código, la configuración, visualización y carga de este.

Para poder hacer uso de Arduino IOT Cloud, es necesario usar una placa que sea compatible con la nube. Asimismo, se puede hacer uso de la placa oficial de Arduino, como lo ha sido en este proyecto, la placa del dispositivo LoRaWAN debe estar basada en un microcontrolador ESP8266 o en un ESP32 como es nuestro caso [23]. De esta forma IOT Cloud será conectado por medio de tecnología Wifi, redes móviles y LoRaWAN (a través del internet de las cosas). Las placas LoRaWAN usadas en este proyecto ayudan a conectar al Arduino IOT Cloud a través de Things Stack. Este servidor de red ayuda a conectarse a miles de puertas de enlace. Además, proporciona la conexión a través de LoRaWAN que es de mucha utilidad cuando la señal del Wifi es de baja potencia y otros tipos de conectividad conocidos no están presentes [23].

CAPÍTULO 4

4. Pruebas y Resultados

Como resultado final del dispositivo, se construyó un prototipo cuadrado de dimensiones de 25 cm de ancho y 25 cm de largo con una anchura de 12 cm, tal como se muestra en la figura 4.1 donde se puede observar el diseño del dispositivo el cual en la parte interior consta del módulo LoRaWAN V2.1, una batería de 9 V voltios y un relé de 5 V voltios, en la parte exterior se encuentra una lampara configurada para encenderse y apagarse mediante los comandos configurados en este proyecto, mediante el sensor y las indicaciones establecidas, este dispositivo se conecta mediante tecnología LoRa al otro módulo LoRaWAN para la transferencia de los datos, a su vez receptándolos.

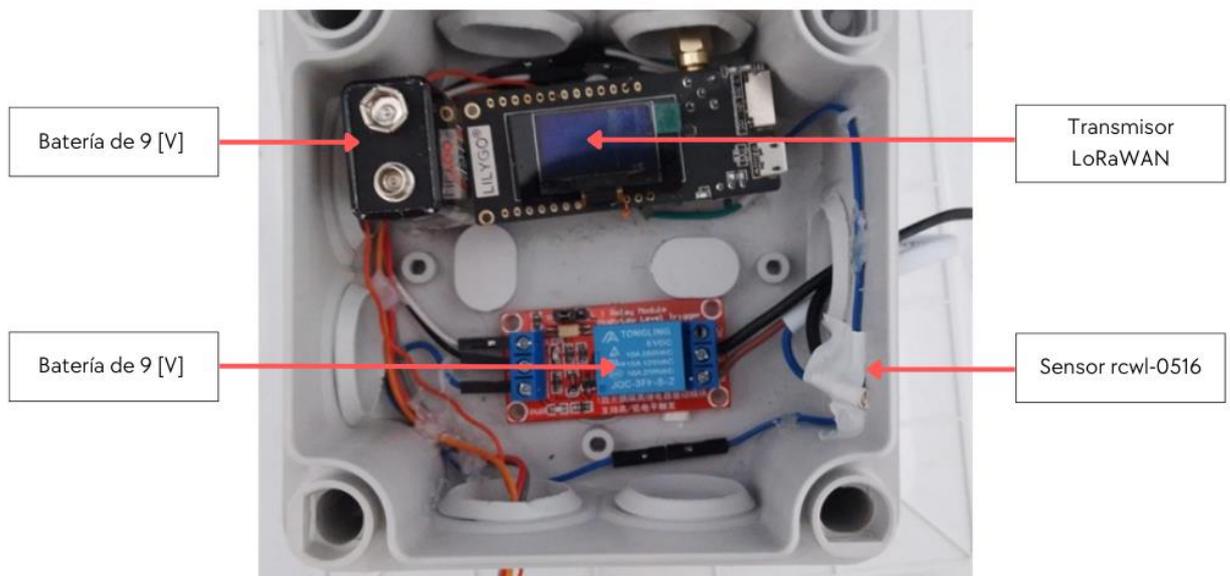


Figura 4.1. Prototipo del dispositivo.

4.1 PRUEBAS

Las pruebas iniciales se basaron en la detección de movimiento y proximidad de las personas por medio del sensor RCWL-0516 el cual hace uso de rayos ultrasónicos, así como de las reflexiones de luz de los objetos, ya que estos objetos en movimiento o las personas reflejan los rayos de regreso a la fuente donde se mide el tiempo de retraso entre la transmisión y la recepción de las ondas de luz para calcular la distancia al objeto, además de realizar pruebas con la luz ambiental ya que al usar estas variaciones nos permitió tener mejores utilidades para la aplicación del control e iluminación de los laboratorios mediante las luminarias, para estas pruebas iniciales se soldó un conector Dupont en ángulo recto a los pines principales, para realizar las conexiones con mayor facilidad.

Las pruebas realizadas para la orientación del sensor teniendo en cuenta su parte posterior y parte frontal tuvieron como resultados que el sensor es sensible en ambas direcciones, esto nos indica que no hay problema con respecto a la detección de objetos si el sensor es orientado de un lado u otro, las primeras pruebas con materiales se realizaron con plástico y la sensibilidad no tiene ningún tipo de pérdida, en materiales como la madera con un grosor de 14 mm y 19 mm de grosor, el sensor radar seguía funcionando correctamente, las paredes de montantes son muy usuales dentro de los laboratorios por ende una de las pruebas realizadas fueron en una pared de montantes con dos capas de yeso intercaladas con montantes de madera, teniendo una reducción ligera de sensibilidad, pero funcionando aun de manera correcta. Cuando existe doble acristalamiento en paredes el sensor no detecta movimientos.

Las pruebas realizadas con respecto al campo de visión mostraron que tiene una efectividad a los 360 grados. La sensibilidad de este tipo de sensores con respecto a un sensor PIR, es que este sensor microondas reconoce de mejor manera a los objetos en movimiento, esto es de gran ayuda dentro de los laboratorios, pero mientras se realizaban pruebas en

los exteriores de las aulas, la sensibilidad llegó a ser más alta de lo previsto.

Un parámetro a tener en cuenta es la activación falsa que puede ocurrir durante las pruebas y es que esto sucede en algunos tipos de sensores, incluido este, dentro de este sistema de prototipo, pero esto tiene solución y es que es muy importante no solo el correcto funcionamiento del dispositivo si no también una buena ubicación de este, es decir su posición dentro de los laboratorios, ya que los sensores son susceptibles al ruido externo, esto no sucedió durante las pruebas, ya que se colocaron en un lugar específico para asegurar que la detección de los movimientos se analizaran dentro de los laboratorios sin tener ningún tipo de disparos falsos que activen el sistema de luminarias debido al movimiento externo de personas que caminan por los pasillos exteriores de los laboratorios.

4.2 RESULTADOS

Para analizar los resultados debemos establecer que el dispositivo se mantuvo encendido durante casi 9 horas seguidas iniciando desde las 10:15 hasta las 19:00, en donde se valida el estado del foco led en encendido y apagado, ya sea por el sensor que detecte movimiento o al desactivar la luminaria mediante el interruptor codificado en la aplicación.

Dichos resultados almacenados en el servidor se mostrarán tanto en la versión de escritorio como de celular, para mejor comprensión de estos.

4.2.1 Lecturas durante la primera hora encendido

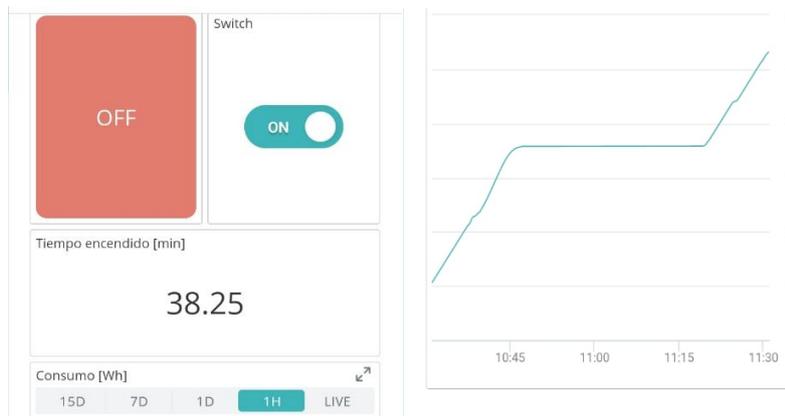


Figura 4.2. Pruebas realizadas durante la primera hora.

Durante la primera hora que se mantuvo encendido el dispositivo en el laboratorio de propagación, se puede visualizar que los primeros minutos, hasta las 10:45 estuvo encendido, para proceder a quedarse apagado hasta las 11:20 como se observa en la figura 4.2. que alguien ingresó al laboratorio y seguir contando tanto el tiempo encendido como incrementar la gráfica de consumo realizado en Watts por hora.

$$\%_{encendido} = \frac{38 * 100}{60} = 63,3\% \quad (1)$$

Calculando el porcentaje de tiempo encendido con respecto a la primera hora de pruebas tenemos un consumo de 63% como se observa en la ecuación 1, es decir que se ahorró 37%, siendo 22 minutos que, si se estimara como un ahorro promedio, generaría ahorros considerables en gasto eléctricos.

4.2.2 Lecturas durante la segunda hora encendido



Figura 4.3. Pruebas realizadas durante la segunda hora.

Luego de estar encendido durante las dos primeras horas, se observa en la figura 4.3. que estuvo encendido la mayor parte de la segunda hora porque en el laboratorio había estudiantes realizando diferentes actividades.

$$\%_{encendido} = \frac{85 * 100}{120} = 70,8\% \quad (2)$$

En este caso disminuyó el ahorro de energía calculado en la ecuación 2, debido a que en ese momento se dictaba una clase dentro del laboratorio.

4.2.3 Lecturas durante cuatro horas encendido

SERVIDOR FOCOS

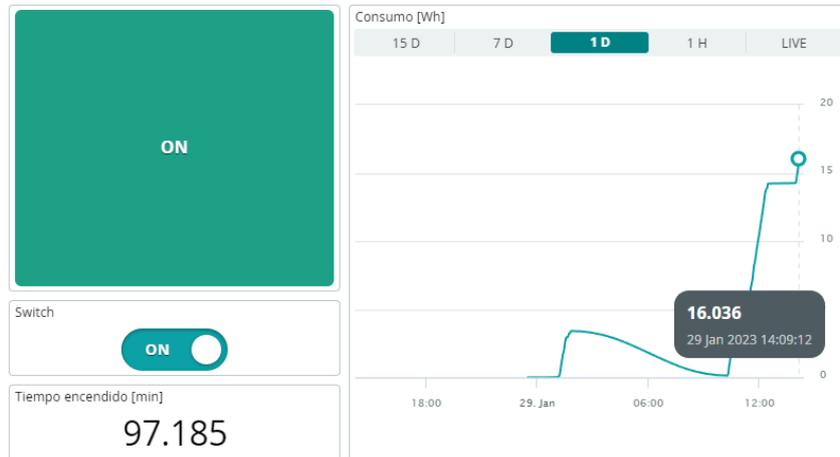


Figura 4.4. Pruebas realizadas durante cuatro horas.

Luego de que el dispositivo ha estado encendido durante cuatro horas como se observa en la figura 4.4., casi la mitad del tiempo que se tomarán las pruebas durante el día se ha obtenido que el foco estuvo encendido 97 de 240 minutos, consumiendo 16,04Watts, lo cual representa un 60% de ahorro de energía como se muestra en cálculo de la ecuación 3.

$$\%_{encendido} = \frac{97 * 100}{240} = 40,8\% \quad (3)$$

Esto se da porque no había nadie en el laboratorio durante la hora de almuerzo, ya que durante esa hora no hay clase y los profesores comen fuera de dicha área y queda cerrado para que nadie ingrese, al regresar a las actividades del laboratorio el sensor detectó el movimiento de las personas y siguió contando el tiempo de encendido, así como los Watts consumidos.

4.2.4 Lecturas durante nueve horas encendido

SERVIDOR FOCOS

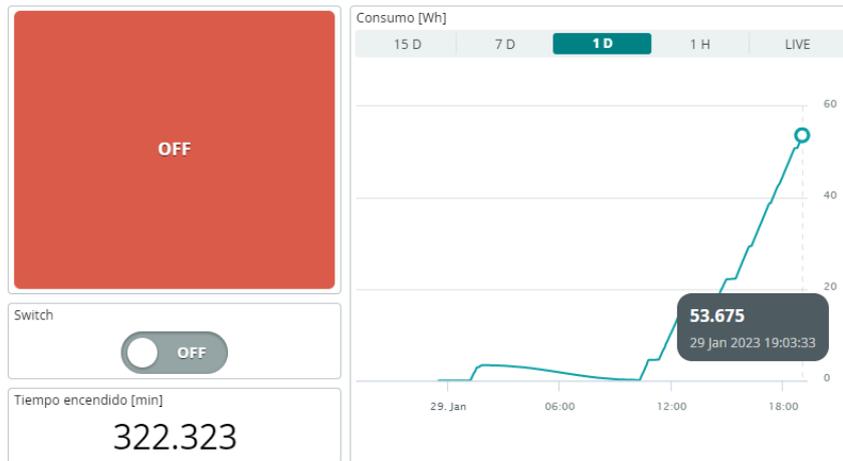


Figura 4.5. Pruebas realizadas durante nueve horas.

Finalmente, luego de estar encendido durante toda la jornada de clases como se observa en la figura 4.5, se procedió a apagar el foco a través del interruptor adaptado en la aplicación para que no detecte ningún otro movimiento y se tiene como resultado que consumió 53,67Watts durante el tiempo establecido previamente, que en el tiempo de encendido se refleja como 322 minutos.

$$\%_{encendido} = \frac{322 * 100}{525} = 61\% \quad (4)$$

Con lo que se puede determinar un promedio de 39% de ahorro del consumo eléctrico promedio que se determinó en la ecuación 4. Posteriormente se realizarán cálculos para determinar los valores de recursos que se ahorrarían al implementar este sistema en las aulas de todos los bloques del campus Gustavo Galindo.

4.2.5 Valores de consumos eléctricos KW/h

Luego de realizar pruebas y establecer que el porcentaje promedio de ahorro de energía es del 39%, procedemos a definir gastos económicos del consumo regular para compararlo con el sistema IOT. Tomamos como referencia la última actualización de costo por KWh, que en el 2021 se estableció en 9 centavos por KWh.

En las pruebas se utilizó un foco de 10W, pero para tener valores cercanos a los obtenidos por cada aula con luminarias se estima 16 focos por cada uno, distribuyéndolos en cuatro focos para cada lámpara, teniendo un promedio de cuatro lámparas por aula.

i. Consumo regular

1 foco led de 10W encendido durante 9 horas consecutivas.

$$\text{consumo}(KWh) = 10W * \frac{1KW}{1000W} = 0,01KWh \quad (5)$$

$$\text{consumo}_{9\text{horas}} = (0,01KWh)(9) = 0,09KWh \quad (6)$$

En la ecuación 6. se calculó el consumo mensual de 1 foco led de 10W encendido durante 9 horas consecutivas, tomando los días laborales de lunes a viernes durante el mes como se calculó en la ecuación 7.

$$\text{consumo}_{20 \text{ días}} = (0,09Kwh)(20) = 1,80 KWh \quad (7)$$

En el caso de la ecuación 8 se estiman 16 focos por las cuatro lámparas en cada aula y laboratorio.

$$\text{consumo}_{\text{ttmensual}} = (1,80KWh)(16) = 28,80 KWh \quad (8)$$

Se determina que en cada aula al mantener encendidas las luminarias durante nueve horas, estableciendo que hay un promedio de

cuatro lámparas con cuatro focos led de 10W cada una, se consume 28,80KWh.

Al llevar a magnitudes mayores para establecer el consumo de cada bloque que cuenta con un promedio de 18 aulas y laboratorios se tiene como total el siguiente consumo determinado en la ecuación 9:

$$\text{consumo}_{\text{bloque}} = (28,80KWh)(18) = 518,40 KWh \quad (9)$$

Y finalmente se calculó el consumo mensual por los 16 bloques que conforman las nueve facultades únicamente contando aulas y laboratorio, se excluyeron los baños y oficinas del campus.

$$\text{consumo}_{\text{final}} = (518,40KWh)(16) = 8294,40 KW \quad (10)$$

Se puede establecer que el consumo mensual entre todos los laboratorios y aulas del campus Gustavo Galindo se consume alrededor de 8 294,40KW durante el mes de lunes a viernes en la ecuación 10 Y al calcular el valor de dicho consumo se tiene en la ecuación 11.

$$\text{valor}_{\text{consumomensual}} = (8294,40KW)(0,09ctvs) = \$746,496 \quad (11)$$

ii. Consumo sistema IOT.

En estos cálculos se usaron las fórmulas del literal anterior, en donde se calculó 1 foco led de 10W encendido durante 9 horas consecutivas, tal como se observa a partir de la ecuación 12.

$$\text{consumo}(KWh) = 10W * \frac{1KW}{1000W} = 0,01KW \quad (12)$$

$$\text{consumo}_{\text{9horas}} = (0,01KWh)(9) = 0,09KWh \quad (13)$$

Al tomar los resultados de las pruebas realizadas se trabajará con el 61% de consumo de energía obtenido con el sistema IOT.

$$\text{consumo}_{9\text{horas}} = (0,09\text{KWh})(0,61) = 0,055\text{KWh} \quad (14)$$

Consumo mensual de 1 foco led de 10W encendido durante 9 horas consecutivas, tomando los días laborales de lunes a viernes con el 61% de consumo se obtiene:

$$\text{consumo}_{20\text{días}} = (0,055\text{Kwh})(20) = 1,10\text{ KWh} \quad (15)$$

Igual que en el consumo regular se estiman 16 focos por las cuatro lámparas en cada aula y laboratorio.

$$\text{consumo}_{\text{ttmensual}} = (1,10\text{KWh})(16) = 17,60\text{ KWh} \quad (16)$$

En este cálculo ya se puede denotar la diferencia de consumo con el caso anterior ya que con el dispositivo no alcanza a consumir 20KWh en comparación al consumo regular que está muy cerca de los 30KWh. Para continuar con la comparación de consumo se establece el mismo consumo de cada bloque que cuenta con un promedio de 18 aulas y laboratorios

$$\text{consumo}_{\text{bloque}} = (17,60\text{KWh})(18) = 316,80\text{ KWh} \quad (17)$$

Y finalmente se calculó el consumo mensual por los 16 bloques de facultades como en el consumo regular teniendo el siguiente resultado:

$$\text{consumo}_{\text{final}} = (316,80\text{KWh})(16) = 5068,80\text{ KW} \quad (18)$$

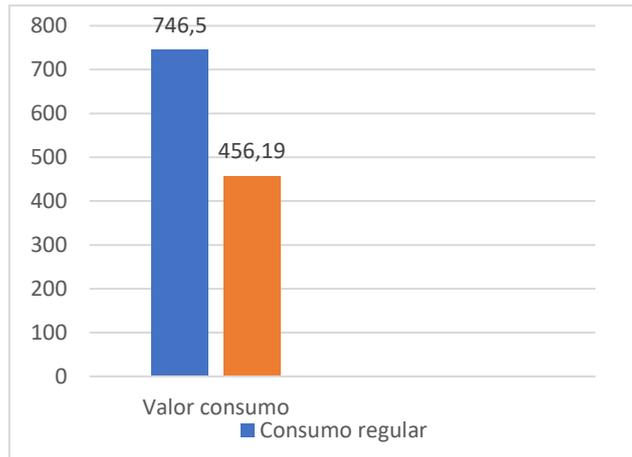


Figura 4.6. Valores de consumo mensual

Se puede establecer que el consumo mensual entre todos los laboratorios y aulas del campus Gustavo Galindo al usar el dispositivo ahorrador de energía es de 5 068,80KW durante el mes de lunes a viernes.

Y al calcular el valor de consumo con el ahorro de energía resulta igual a:

$$valor_{consumomensual} = (5068,80KW)(0,09ctvs) = \$456,192 \quad (19)$$

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El protocolo LoRaWAN a la par con los dispositivos LoRa nos permitieron optimizar el funcionamiento del dispositivo con respecto al bajo consumo de energía, el uso de las baterías hace que los módulos puedan estar en funcionamiento por un largo periodo de tiempo, y posibilita minimizar los gastos económicos con respecto al mantenimiento, el espectro sin licencia que usa esta tecnología nos ahorra dinero al no tener una obligación de pagar por el uso de la frecuencia de la red.
- El sensor de movimiento de radar seleccionado en este proyecto tiene varias ventajas sobre otros sensores de detección que se encuentran en el mercado. Puede funcionar desde el interior de un estuche, lo cual nos permite tener una protección del sensor, esto nos permite hacer uso de este dispositivo incluso en entornos hostiles.
- El uso de la red LoRa nos permitirá tener escalabilidad con más dispositivos de sensores de movimiento conectados a grandes distancias del módulo máster, siendo este último el encargado de compartir los datos del consumo, encendido y apagado de los focos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Este dispositivo al igual que la mayoría usados para aplicaciones de IOT deben instalarse y ubicarse de manera estratégica para tener el mejor rendimiento posible.
- El sensor de movimiento debe montarse de manera rígida en la estructura del dispositivo, al igual que los cables conectados a él, ya que si los cables están en continuo movimiento o en vibración harán que el sensor se active y envíe información falsa al servidor.

- Este dispositivo no es apto para usos exteriores, ya que el viento puede activarlos, esto sucede por la sensibilidad del sensor usado, esto significa una desventaja y limita el número de aplicaciones y casos de uso para nuestro prototipo, siendo solo así ideales y beneficiosos en usos internos.
- Las ondas electromagnéticas del sensor de movimiento son capaces de atravesar el plástico, madera y otros materiales descritos en este texto, no se recomienda que el dispositivo este encerrado en alguna caja de metal ya que no permitirá que el dispositivo detecte los movimientos dentro de las aulas y laboratorios.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Chow J, Kopp RJ, Portney PR. Energy resources and global development. *Science* 2003; 302: 1528-1532.
- [2]. Gobierno del Ecuador “Balance Nacional de Energía Eléctrica”, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/balance-nacional-de-energia-electrica/>
- [3]. Zenghelis D. *Stern review: the economics of climate change*. London: HM Treasury, 2006.
- [3]. Armaroli N, Balzani V. The future of energy supply: challenges and opportunities. *Angew Chem Int Ed* 2007; 46: 52-66.
- [4]. Jorli M, Van Passel S, Sadeghi H, et al. Estimating human health impacts and costs due to Iranian fossil fuel power plant emissions through the impact pathway approach. *Energies* 2017; 10:2136.
- [5]. Kern F, Smith A. Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands. *Energy Policy* 2008; 36: 4093-4103. Nov.
- [6]. R Joyeus Et Al. Household energy consumption versus income and relative standard of living: a panel approach. *Energy Policy* 2007.
- [7]. Stochastic convergence in per capita CO2 emissions. An approach from nonlinear stationarity analysis. *Energy Economics*, volume 70, 2018, pp. 563-581.
- [8]. Modeling Energy-Efficient Policies in Educational Buildings – A Literature Review. *Procedia Computer Science*, 2001.
- [9]. Heliyon. Methodology for estimating energy and water consumption patterns in university buildings, 2001.

- [10]. X. Lou, W. Shi, Y. Jiang, et al. Distributed peer-to energy trading based on game theory in a community microgrid considering ownership complexity of distributed energy resources. *Journal of cleaner Production*, 351. 2022.
- [11]. Y. Yang, J. Yuan, Z. Xiao, et al. Energy consumption characteristics and adaptative electricity pricing strategies for college dormitories based on historical monitored data. *Energy Build*, 245. 2021.
- [12]. Internal benchmarking of higher education buildings using the floor – area percentages of different space usages. *Energy and Buildings*. 2001.
- [13]. M. Saari, A. Muzaffar bin Baharudin, P. Sillberg, S. Hyrynsalmi, W. Yan, "LoRa — A survey of recent research trends", *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pp.0872-0877, 2018.
- [14]. Centenaro, M.; Vangelista, L.; Zanella, A.; Zorzi, M. Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wirel. Commun.* **2016**, 23, 60–67.
- [15]. Talavera, J.M.; Tobón, L.E.; Gómez, J.A.; Culman, M.A.; Aranda, J.M.; Parra, D.T.; Quiroz, L.A.; Hoyos, A.; Garreta, L.E. Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Comput. Electron. Agric.* **2017**, 142, 283–297.
- [16]. Niyato, D.; Lu, X.; Wang, P.; Kim, D.I.; Han, Z. Economics of Internet of Things: An information market approach. *IEEE Wirel. Commun.* **2016**, 23, 136–145.
- [17]. A. M. Abu-Mahfouz, T. Olwal, A. Kurien, J. L. Munda and K. Djouani, "Toward developing a distributed autonomous energy management system (DAEMS)", *Proc of the IEEE AFRICON 2015 Conference 3.*, pp. 1-6, 14–17 September 2015.

- [18]. Want Roy, Bill N. Schilit and Scott Jenson, "Enabling the internet of things", *Computer*, vol. 48, no. 1, pp. 28-35, 2015.
- [19]. M. Ndiaye, G. Hancke and A. Abu-Mahfouz, "Software Defined Networking for Improved Wireless Sensor Network Management: A Survey", *Sensors*, vol. 17, no. 5: 1031, pp. 1-32, 2017.
- [20]. A. J. Wixted, P. Kinnaird, H. Larijani, A. Tait, A. Ahmadiania and N. Strachan, "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks", *IEEE SENSORS*, pp. 1-3, 2016.
- [21]. P. R. Page, A. M. Abu-Mahfouz and M. Mothetha, "Pressure management of water distribution systems via the remote real-time control of variable speed pumps", *J. Water Resour. Plan. Manag.* 5., vol. 143, no. 8, 2017.
- [22]. Carosso, L., Mattiauda, L., & Allegretti, M. *A Survey on Devices Exploiting Lora Communication*, (Acta Marisiensis. SeriaTechnologica2020), **17**(2), 31–35.
- [23]. Sánchez Sutil, F.; Cano-Ortega, A. *Smart Public Lighting Control and Measurement System Using LoRa Network*, Electronics 2020.

ANEXO

ANEXO A

CÓDIGO TRANSMISOR

```
1 //////////////////////////////////////////////////LIBRERIAS DEL CODIGO////////////////////////////////////
2 //LORAWAN
3 #include <LoRa.h>
4 #include <SPI.h>
5 //PANTALLA OLED
6 #include <Wire.h>
7 #include <Adafruit_GFX.h>
8 #include <Adafruit_SSD1306.h>
9
10
11 //////////////////////////////////////////////////VARIABLES DEL CODIGO////////////////////////////////////
12 int mensaje=1,dato,Contador; //mensajedefault,mensaje_server,mensaje_estado_foco
13 String DatoLoRa="",paquete=""; //variable para paquetes entrantes y salientes
14 //VARIABLES DEL CONTADOR
15 unsigned long tiempo0=0,tiempo1=0,tiempo2=0,tiempo3=0;
16 const long intervalo1=1000,intervalo2=440;
17 //DIRECCIONES DEL NODO
18 byte DireccionNodo1 = 0x02;
19 byte DireccionServer = 0x01;
20 //////////////////////////////////////////////////PINES A UTILIZAR //////////////////////////////////////
21 int foco=4,movimiento=12; //rele y sensor
22 //PINES LORA
23 #define SCLK 5
24 #define MISO 19
25 #define MOSI 27
26 #define CS 18
27 #define RST 23
28 #define DIO0 26
29 //PINES PANTALLA
30 #define ANCHOPANTALLA 128 // El ancho de la pantalla en pixeles es de 128px
31 #define ALTOPANTALLA 64 // El ancho de la pantalla en pixeles es de 64px
32 #define OLED_SDA 21
33 #define OLED_SCL 22
34 #define OLED_RST 23
35 //FRECUENCIA DEL LORA
36 #define BAND 915E6
37 //////////////////////////////////////////////////VARIABLE DE PANTALLA LED////////////////////////////////////
38 Adafruit_SSD1306 display(ANCHOPANTALLA, ALTOPANTALLA, &Wire, OLED_RST);
39
40 //////////////////////////////////////////////////APARTADO DE FUNCIONES////////////////////////////////////
41
42 //////////////////////////////////////////////////FUNCIONES DE MENSAJE DE PANTALLA////////////////////////////////////
43 void pantallaEnvio(String mensaje){ //MOSTRARA EL MENSAJE DE ENVIO EN LA PANTALLA
44     display.clearDisplay();//Limpia pantalla
45     display.setCursor(0,0);//Posicion en la pantalla
46     display.setTextSize(1);//Tamaño de fuente
47     display.println("PROYECTO TRANSMISOR LORA");//
48     display.setCursor(0,30);
49     display.print("El mensaje ha sido enviado.");//confirmacion
50
51     display.setCursor(80,50);
52     display.print(mensaje);//variable a enviar
53     display.display();
54 }
55 void pantallaRecibir(int mensaje,int rssi){//MOSTRARA EL MENSAJE DE RECEPCION EN LA PANTALLA
56     display.clearDisplay();
57     display.setCursor(0,0);
58     display.print("PROYECTO TRANSMISOR LORA");//Mensaje
59     display.setCursor(0,20);
60     display.print("Paquete recibido:");//Imprime datos recibidos
61     display.setCursor(0,30);
62     display.print(mensaje);
63     display.setCursor(0,40);
64     display.print("Potencia:");//Imprime intensidad
65     display.setCursor(60,40);
66     display.print(rssi);
67     display.display();
68 }
69 ..
```

```

69 void apagadopantalla(){
70   display.clearDisplay();//Limpia pantalla
71   display.setCursor(0,0);
72   display.setTextSize(1);
73   display.println("PROYECTO TRANSMISOR LORA");//
74   display.setCursor(0,30);
75   display.print("FOCO APAGADO.");
76   display.display();
77 }
78
79 ///////////////////////////////////////////////////FUNCIONES DE TRANSMISION Y RECEPCION LORA////////////////////////////////////
80
81 //RECEPCION
82 void RecibirMensaje(int tamanopaquete){
83   if (tamanopaquete == 0) return; //si no hay paquete se sigue el codigo
84   int recipient = LoRa.read(); //direccion del destino
85
86   DatoLoRa = ""; //se limpia la variable
87   while (LoRa.available()) {
88     DatoLoRa = LoRa.readString();//Guardamos cadena en variable
89     mensaje = DatoLoRa.toInt(); //dato en int
90   }
91
92 //REVISION DE LA DIRECCION DE DESTINO
93 if (recipient != DireccionNodo1) {
94   Serial.println();
95   Serial.println("ESTE MENSAJE NO ES PARA MI");
96   return; //--> skip rest of function
97 }
98 int rssi = LoRa.packetRssi();//Esto nos imprime la intensidad de señal recibida
99 Serial.print(" con RSSI ");
100 Serial.println(rssi);
101 pantallaRecibir(mensaje,rssi);
102 }
103 //TRANSMISION
104 void sendMessage(String mensaje2, byte destino){
105 //HAY QUE AGREGAR LA PARTE DE DIRECCIONES DE DESTINO ESO SE HARA AL FINAL
106 LoRa.beginPacket();//Inicia protocolo
107 LoRa.write(destino);//Direccion de destino
108 LoRa.print(mensaje2);//Manda cuenta actual
109 LoRa.endPacket();//Fin de paquete enviado
110 pantallaEnvio(mensaje2);
111 }
112
113
114 ///////////////////////////////////////////////////APARTADO DE SETUP(SE DEFINEN SALIDAS/ENTRADA)////////////////////////////////////
115 void setup() {
116   Serial.begin(115200);//inicia monitor serial
117   ///////////////////////////////////////////////////
118   //PANTALLA
119   pinMode(OLED_RST, OUTPUT);//reseteamos la pantalla OLED para comenzar
120   digitalWrite(OLED_RST, LOW);
121   delay(20);
122   digitalWrite(OLED_RST, HIGH);
123 //SENSOR Y FOCO
124   pinMode(foco, OUTPUT); //Salida del foco
125   pinMode(movimiento, INPUT); //Entrada del sensor
126 //PINES LORA
127   SPI.begin(SCLK, MISO, MOSI, CS); //Definimos pines SPI
128   LoRa.setPins(CS, RST, DIO0); //Configuramos el LoRa para enviar
129
130 ///////////////////////////////////////////////////OTRAS CONFIGURACIONES PREVIAS////////////////////////////////////
131 //CONFIGURACION PANTALLA OLED
132 Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL); //inicia OLED
133 if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false)) { // 0x3C representa 128x32
134   Serial.println(F("Fallo iniciando SSD1306"));
135   for(;;); // Si detecta el fallo anterior, detiene el código aquí hasta que se reinicie
136 }
137 display.clearDisplay();//Borramos pantalla
138 display.setTextColor(WHITE);//Definimos texto color blanco
139 display.setTextSize(1);//Tamaño de fuente a 1 punto
140 display.setCursor(0,0);//Comenzamos a graficar desde coordenadas 0,0
141 display.print("TRANSMISOR LORA");

```

```

142 display.display();
143 //INICIO DE LORAWAN
144 if (!LoRa.begin(BAND)) { //Intenta transmitir en la banda elegida
145     Serial.println("Error iniciando LoRa");//Si no puede transmitir, marca error
146     while (1);
147 }
148 display.setCursor(0,10);
149 display.print("Inicio exitoso de LoRa!");//Mensaje de todo bien en pantalla OLED
150 display.display();
151 delay(100);//Esperamos un par de segundos
152 }
153 //////////////////////////////////////////////////PROGRAMA PRINCIPAL////////////////////////////////////
154 void loop(){
155
156     tiempo0=millis();
157 //APARTADO DEL SENSOR DE MOVIMIENTO CON FOCO
158 if (mensaje==1){ //codigo de circuitos, si el server esta en on
159     if (tiempo0-tiempo2>=intervalo2){
160         tiempo2=tiempo0;
161         dato=digitalRead(movimiento);
162         if (dato>0){ //si el sensor envia algun voltaje
163             digitalWrite(foco, HIGH); //encender foco
164             Contador=1;
165             //sendMensaje(Contador);//FUNCION ANTERIORMENTE ESTABLECIDA
166         }
167         else {
168             digitalWrite(foco, LOW); //apagar foco
169             Contador=0;
170             //sendMensaje(Contador);
171         }
172     }
173 }
174 else{ //se apaga foco
175     digitalWrite(foco, LOW); //apagar foco
176     Contador=0;
177     apagadopantalla();
178     //sendMensaje(paquete);
179 }
180 }
181 //APARTADO DE ENVIO DE ESTADO DEL FOCO CADA 200MS
182 if (tiempo0-tiempo1>=intervalo1){
183     tiempo1=tiempo0;
184     sendMensaje((String)Contador,DireccionServer);
185 }
186 //APARTADO DE RECEPCION
187 int tamanoPaquete = LoRa.parsePacket();
188 RecibirMensaje(tamanoPaquete);
189 }

```

ANEXO B

CÓDIGO RECEPTOR

```
19 //////////////////////////////////////////////////LIBRERIAS DEL CODIGO////////////////////////////////////
20 //LORAWAN
21 #include <LoRa.h>
22 #include <SPI.h>
23 //APLICACION IOT
24 #include "thingProperties.h"
25 //PANTALLA OLED
26 #include <Wire.h>
27 #include <Adafruit_GFX.h>
28 #include <Adafruit_SSD1306.h>
29
30
31 //////////////////////////////////////////////////VARIABLES DEL CODIGO////////////////////////////////////
32 String DatoLoRa;//Cadena de texto para recibir datos del otro LoRa.
33 int mensaje;
34 float tiempo_on=0;
35 //DIRECCIONES DEL NODO
36 byte DireccionNodo1 = 0x02;
37 byte DireccionServer = 0x01;
38 unsigned long tiempo0=0,tiempo1=0;//tiempo de prendido y apagado
39 float tiempo_resta;
40
41 //////////////////////////////////////////////////PINES A UTILIZAR //////////////////////////////////
42
43 //PINES LORA
44 #define SCLK 5
45 #define MISO 19
46 #define MOSI 27
47 #define CS 18
48 #define RST 23
49 #define DIO0 26
50 //PINES PANTALLA
51 #define ANCHOPANTALLA 128 // El ancho de la pantalla en pixeles es de 128px
52 #define ALTOPANTALLA 64 // El ancho de la pantalla en pixeles es de 64px
53 #define OLED_SDA 21
54 #define OLED_SCL 22
55 #define OLED_RST 23
56 //FRECUENCIA DEL LORA
57 #define BAND 915E6
58
59 //////////////////////////////////////////////////VARIABLE DE PANTALLA LED////////////////////////////////////
60 Adafruit_SSD1306 display(ANCHOPANTALLA, ALTOPANTALLA, &Wire, OLED_RST);
61
62 //////////////////////////////////////////////////APARTADO DE FUNCIONES////////////////////////////////////
63
64 //////////////////////////////////////////////////FUNCIONES DE MENSAJE DE PANTALLA////////////////////////////////////
65 void pantallaEnvio(String mensaje){ //MOSTRARA EL MENSAJE DE ENVIO EN LA PANTALLA
66     display.clearDisplay();//Limpia pantalla
67     display.setCursor(0,0);//Posicion en la pantalla
68     display.setTextSize(1);//Tamaño de fuente
69     display.println("SERVIDOR DE FOCOS");//
70     display.setCursor(0,30);
71     display.print("El mensaje ha sido enviado.");//confirmacion
72     display.setCursor(0,50);
73     display.print("Mensaje:");
74     display.setCursor(80,50);
75     display.print(mensaje);//variable a enviar
76     display.display();
77 }
78 void pantallaRecibir(int mensaje,int rssi){//MOSTRARA EL MENSAJE DE RECEPCION EN LA PANTALLA
79     display.clearDisplay();
80     display.setCursor(0,0);
81     display.print("SERVIDOR DE FOCOS");//Mensaje
82     display.setCursor(0,20);
83     display.print("Paquete recibido");//Imprime datos recibidos
84     display.setCursor(0,30);
85     display.print(mensaje);
86     display.setCursor(0,40);
87     display.print("Potencia:");//Imprime intensidad
88     display.setCursor(60,40);
89     display.print(rssi);
90     display.display();
```

```

93 //////////////////////////////////////////////////FUNCIONES DE TRANSMISION Y RECEPCION LORA////////////////////////////////////
94
95 //TRANSMISION
96 void sendMensaje(String mensaje2, byte destino){
97 //HAY QUE AGREGAR LA PARTE DE DIRECCIONES DE DESTINO ESO SE HARA AL FINAL
98 LoRa.beginPacket();//Inicia protocolo
99 LoRa.write(destino);//Direccion de destino
100 LoRa.print(mensaje2);//Manda cuenta actual
101 LoRa.endPacket();//Fin de paquete enviado
102 pantallaEnvio(mensaje2);
103 }
104
105 //RECEPCION
106 void RecibirMensaje(int tamanopaquete){
107     if (tamanopaquete == 0) return; //si no hay paquete se sigue el codigo
108     int recipient = LoRa.read(); //direccion del destino
109
110     DatoLoRa = ""; //se limpia la variable
111     while (LoRa.available()) {
112         DatoLoRa = LoRa.readString();//Guardamos cadena en variable
113         mensaje = DatoLoRa.toInt(); //dato en int
114         status=bool(mensaje);
115         if (status==1){
116             tiempo_resta=float(tiempo0-tiempo1)*2.77778E-6;
117             tiempo_on=float(tiempo0-tiempo1)*1.66667E-5;
118             tiempo1=tiempo0;
119             estadistica+=tiempo_resta;
120             tiempo_encendido+=tiempo_on;
121         }
122         else{
123             tiempo1=tiempo0;
124             estadistica+=0;
125         }
126     }
127
128 //REVISION DE LA DIRECCION DE DESTINO
129 if (recipient != DireccionServer) {
130     Serial.println();
131     Serial.println("ESTE MENSAJE NO ES PARA MI");
132     return; //--> skip rest of function
133 }
134 int rssi = LoRa.packetRssi();//Esto nos imprime la intensidad de señal recibida
135 Serial.print(" con RSSI ");
136 Serial.println(rssi);
137 pantallaRecibir(mensaje,rssi);
138 }
139
140
141 //////////////////////////////////////////////////APARTADO DE SETUP(SE DEFINEN SALIDAS/ENTRADA)////////////////////////////////////
142 void setup() {
143     Serial.begin(115200);
144     delay(1500);
145     //CONECTAR A LA IOT CLOUD
146     initProperties();
147     ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
148     /*
149     ..... The following function allows you to obtain more information
150     ..... related to the state of network and IoT Cloud connection and errors
151     ..... the higher number the more granular information you'll get.
152     ..... The default is 0 (only errors).
153     ..... Maximum is 4
154     */
155     setDebugMessageLevel(2);
156     ArduinoCloud.printDebugInfo();
157     //PANTALLA
158     //PANTALLA
159     pinMode(OLED_RST, OUTPUT);//reseteamos la pantalla OLED para comenzar
160     digitalWrite(OLED_RST, LOW);
161     digitalWrite(OLED_RST, HIGH);
162     //OTRAS CONFIGURACIONES PREVIAS
163     //CONFIGURACION PANTALLA OLED
164     Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL); //inicia OLED
165     if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false)) { // 0x3c representa 128x32
166         Serial.println(F("Fallo iniciando SSD1306"));
167         for(;;); // Si detecta el fallo anterior, detiene el código aquí hasta que se reinicie
168     }
169     display.clearDisplay();//Borramos pantalla
170     display.setTextColor(WHITE);//Definimos texto color blanco
171     display.setTextSize(1);//Tamaño de fuente a 1 punto
172     display.setCursor(0,10);//Comenzamos a graficar desde coordenadas 0,0
173     display.print("SERVIDOR DE FOCOS");
174     display.display();
175
176 //PINES LORA
177 SPI.begin(SCLK, MISO, MOSI, CS); //Definimos pines SPI
178 LoRa.setPins(CS, RST, DIO0); //Configuramos el LoRa para enviar
179 //INICIO DE LORAWAN
180 if (!LoRa.begin(BAND)) { //Intenta transmitir en la banda elegida
181     Serial.println("Error iniciando LoRa");//Si no puede transmitir, marca error
182     while (1);
183 }
184 Serial.println("Inicio exitoso de LoRa!");//Mensaje de todo bien en puerto serial
185 display.setCursor(0,30);
186 display.print("Inicio exitoso de LoRa!");//Mensaje de todo bien en pantalla OLED
187 display.display();

```

```

189 //////////////////////////////////////////////////PROGRAMA PRINCIPAL////////////////////////////////////
190 void loop() {
191     tiempo0=millis();
192     ArduinoCloud.update();
193     // Your code here
194     int tamanoPaquete = LoRa.parsePacket();
195     RecibirMensaje(tamanoPaquete);
196 }
197
198 //////////////////////////////////////////////////SWITCH ON/OFF////////////////////////////////////
199 void onLedChange() {
200     // Add your code here to act upon Led change
201     if (led == 1) {
202         sendMensaje(String(led),DireccionNodo1);
203         delay(120);//Esperamos 10 segundos entre cada envÃo
204     }
205     else {
206         led=0;
207         sendMensaje(String(led),DireccionNodo1);
208         delay(120);//Esperamos 10 segundos entre cada envÃo
209     }
210 }

```

ANEXO C

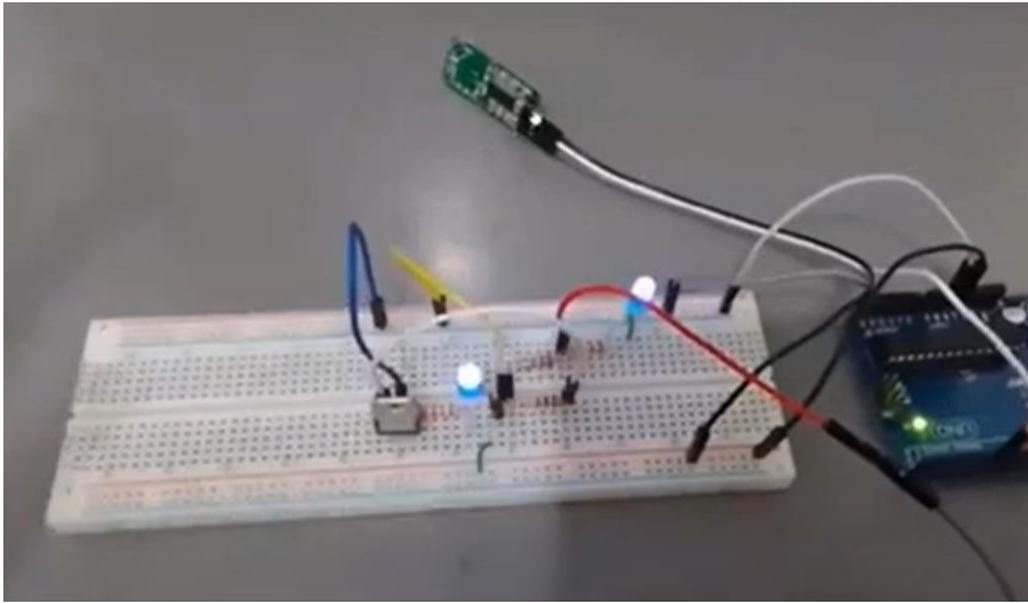


Figura Anexo 1. Pruebas iniciales del sensor de movimiento.

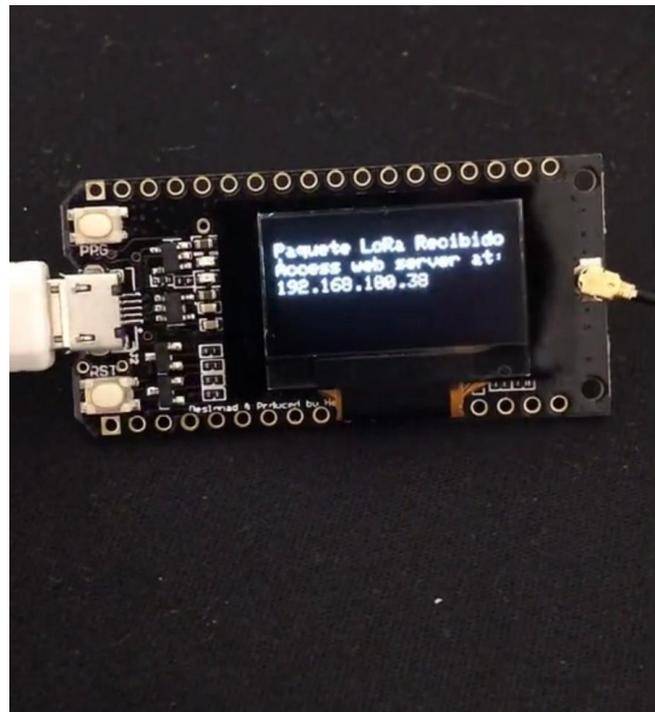


Figura Anexo 2. Pruebas iniciales de los módulos LoRaWAN.



Figura Anexo 3. Pruebas de recepción de datos.



Figura Anexo 4. Pruebas de transmisión de datos.

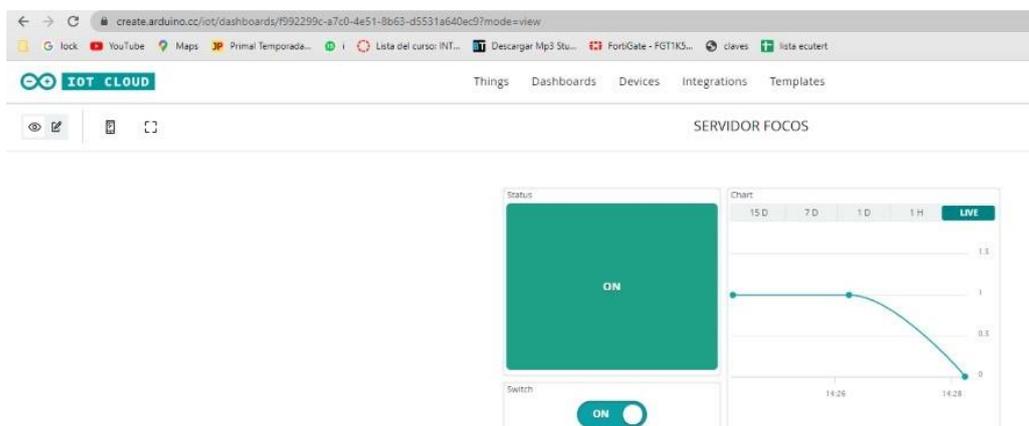


Figura Anexo 5. Pruebas del servidor de las luminarias.

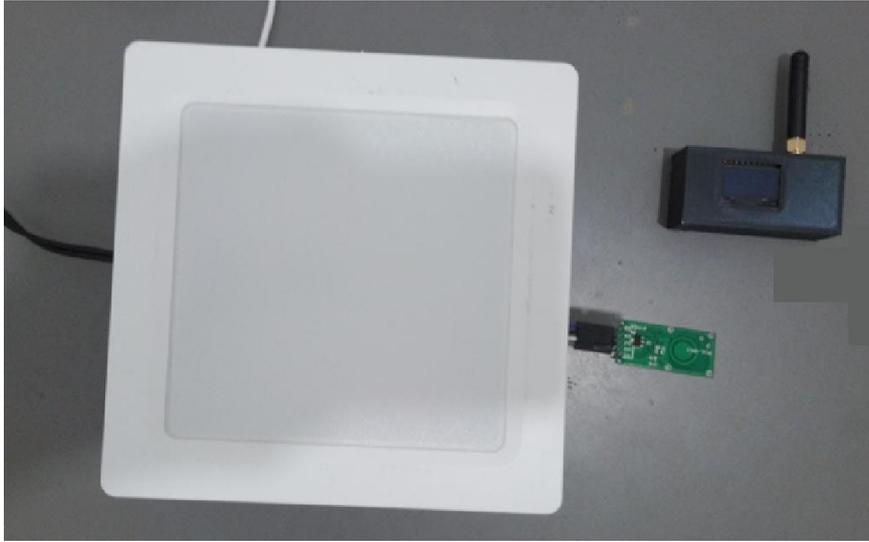


Figura Anexo 6. Sistema ahorrador de energía.