



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES

TEMA:

SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTROL ENERGÉTICO MEDIANTE UNA
RED DE SENSORES PARA EL GAD PARROQUIAL DE BENÍTEZ

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

AUTOR: ALDO RENATO TORRES SAMANIEGO
TUTOR: ING. GEOVANNI DANILO BRITO MONCAYO, Mg

AMBATO - ECUADOR
JUNIO 2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema:

“SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTROL ENERGÉTICO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES PARA EL GAD PARROQUIAL DE BENÍTEZ”, del señor, ALDO RENATO TORRES SAMANIEGO estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Junio de 2018

EL TUTOR



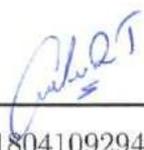
Ing. Giovanni Danilo Brito Moncayo, Mg.

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTROL ENERGÉTICO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES PARA EL GAD PARROQUIAL DE BENÍTEZ. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Junio de 2018

Aldo Renato Torres Samaniego



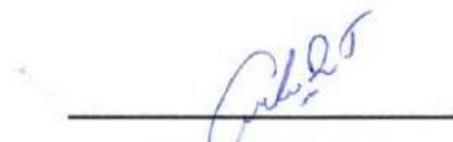
CC: 1804109294

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación. Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Junio de 2018

Aldo Renato Torres Samaniego



CC: 1804109294

APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORES

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes PhD. Carlos Gordón e Ing. Santiago Altamirano, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTROL ENERGÉTICO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES PARA EL GAD PARROQUIAL DE BENÍTEZ, presentado por el señor ALDO RENATO TORRES SAMANIEGO, de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.



PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

PhD. Carlos Gordón



DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Santiago Altamirano, Mg.



DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi mamita, por ser el pilar principal y fundamental de mi vida, por jamás rendirse en su ardua y laboriosa tarea de ser madre y padre a la vez. Y sobre todo por inculcarme los principios y valores que han hecho de mi una mejor persona.

A mi familia y amigos que me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y que en todos mis triunfos y derrotas han sabido extenderme ese estímulo necesario para alcanzar mis metas.

Aldo Torres Samaniego

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi escudo, mi fortaleza y guiar mis pasos a lo largo de mi vida.

A mis hermanas y hermanos por ser la mejor compañía que pude haber tenido desde la niñez, por asumir responsabilidades que no le competían y aún así dar todo de sí para ayudarme a triunfar. A mis amigos incondicionales de toda mi vida.

A Cecilia Gallegos, aquella persona que me ha brindado su amor incondicional.

Al Ing. Geovanni Brito por su tiempo, apoyo y paciencia brindado a lo largo del presente proyecto.

Aldo Torres Samaniego

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iii
APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I EL PROBLEMA	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Delimitación	2
1.3.1 De Contenidos	2
1.3.2 Temporal	2
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 General	3
1.5.2 Específicos	3
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes Investigativos	5
2.2 Fundamentación teórica	7
2.2.1 Red de Sensores Inalámbricos	7
2.2.2 Sistemas de Control Energético	8

2.2.3	Domótica en edificios	9
2.2.4	Eficiencia Energética y Ahorro Energético	10
2.2.5	Propagación de ondas electromagnéticas en ambientes abiertos y cerrados	11
2.2.6	Plataformas de Hardware Libre	12
2.2.7	Arduino	12
2.2.8	Transreceptor NRF24101	13
2.2.9	GSM/GPRS	15
2.3	Propuesta de Solución	16
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		17
3.1	Población y muestra	17
3.2	Recolección de información	17
3.3	Procesamiento y análisis de datos	18
3.4	Desarrollo del Proyecto	18
CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA PROPUESTA		19
4.1	Análisis para la selección de los sensores de adquisición.	20
4.2	Requerimientos Técnicos	21
4.3	Análisis Técnico del Hardware Requerido	23
4.4	Diseño de la red de sensores inalámbrica	33
4.4.1	Análisis matemático	33
4.5	Diseño Electrónico del Sistema	38
4.6	Diseño de los Algoritmos de Control	41
4.7	Esquema final del sistema de seguridad y control energético para el GAD parroquial de Benítez	46
4.8	Ahorro de Energía del GAD con el Sistema Propuesto	47
4.8.1	Consumo de Energía	47
4.9	Costos del Sistema	48
4.10	Pruebas de Funcionamiento	49
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		53
5.1	CONCLUSIONES	53
5.2	RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA		56
ANEXOS		60

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Características generales de frecuencia del chip NRF24L01 [21]	13
4.1	Análisis técnico comparativo entre los diferentes placas de desarrollo de hardware libre. Fuente: Investigador	23
4.2	Análisis técnico de módulos de comunicación RF. Fuente: Investigador . . .	25
4.3	Análisis técnico de los tipos de fuentes de energía. Fuente: Investigador . . .	26
4.4	Análisis técnico de baterías para seguridad . Fuente: Investigador	28
4.5	Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de presencia utilizados en Arduino. Fuente: Investigador	28
4.6	Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de movimiento utilizados en Arduino. Fuente: Investigador	29
4.7	Análisis técnico de módulos de comunicación RF. Fuente: Investigador . . .	30
4.8	Análisis técnico comparativo entre los conmutadores electromagnéticos. Fuente: Investigador	32
4.9	T(IRQ) en función de la velocidad de transmisión del NRF24L01 [20, 24]. . .	34
4.10	Análisis de parámetros técnicos de propagación de los transreceptores NRF24L01 en sus diferentes modelos [21].	37
4.11	Detalle de costos de materiales utilizados en el sistema de seguridad y control energético, hecho por el investigador.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Consumo energético en edificios públicos en los últimos años [1].	1
2.1	Red de Sensores Inalámbricos [11]	7
2.2	Sistema de seguridad domótico [14].	9
2.3	Ocupación de la banda de 2,4 GHz según IEEE 802.15.4 y 802.11b/g. [24] .	11
2.4	Tarjetas electrónicas de código abierto Arduino [19].	13
2.5	Transceptor NRF24101 [21].	13
2.6	Componentes de un servidor LAMP [22].	15
4.1	Esquema General del sistema propuesto.	19
4.2	Función del sensor de distancia instalado en el pasillo de la entrada del GAD Parroquial de Benítez [2].	20
4.3	Función del sensor de movimiento instalado en el tumbado del pasillo principal del GAD parroquial de Benítez [2][2].	21
4.4	Esquema general del Sistema de Seguridad y Control Energético mediante una red de sensores para el GAD Parroquial de Benítez [1].	21
4.5	Trama ShockBurst™ mejorada del NRF24101.	33
4.6	Comportamiento del BER en función de la distancia.	38
4.7	Diseño Electrónico del nodo de ingreso de datos.	39
4.8	Diseño electrónico del nodo de generación de alertas via GSM.	39
4.9	Diseño electrónico del nodo de control de iluminación.	40
4.10	Diseño electrónico del nodo de generación de alertas.	41
4.11	Algoritmo ligado al nodo de ingreso de datos.	42
4.12	Algoritmo ligado al nodo de control del sistema de iluminación artificial. . .	43
4.13	Algoritmo ligado al nodo de generación de alertas.	44
4.14	Algoritmo ligado al nodo de notificación de alertas.	45
4.15	Esquema final del sistema de seguridad y control energético para el GAD parroquial de Benítez.	46
4.16	PCB Sistema de seguridad y control energético. a) Nodo de Notificación. b) Nodo de Ingreso de Datos. c) Nodo de Control de Iluminación. d) Nodo de Notificación de Alertas	50
4.17	Sistema de seguridad y control energético instalado en el GAD. a) Nodo de Ingreso de Datos. b) Nodo de Notificación.	51

4.18 Teléfono recibiendo una llamada de emergencia del sistema de seguridad y control energético.	51
---	----

RESUMEN

En el presente proyecto se describe un sistema de seguridad y control energético para las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez. Esto posibilita en primera instancia que el GAD obtenga un ahorro energético puesto que se está controlando el tiempo de encendido del sistema de iluminación y al mismo tiempo garantiza seguridad debido a que se cuenta con una red de sensores que genera alertas auditivas poniendo en conocimiento ante la ciudadanía la presencia de personas sin respetar el protocolo de ingreso correspondiente, de la misma forma se notifica a un empleado de la institución mediante una llamada telefónica celular sobre el percance.

En el proyecto se ha optado por el uso de plataformas de hardware libre, sensores con salidas de voltaje normalizadas, el uso del protocolo Shockburst para la comunicación local dentro de las instalaciones del GAD y el uso del protocolo GSM para las llamadas telefónicas de alertas al usuario.

Para garantizar el funcionamiento de las comunicaciones del sistema, se realizó un análisis matemático mediante el modelo Multi-wall el cual toma en cuenta las pérdidas por paredes y pisos, con el fin de seleccionar la potencia necesaria que los dispositivos NRF24l01 deben transmitir para no tener errores en la comunicación. La estructura de cada nodo sensor consta de un controlador central, el cual proporciona el medio de digitalización y procesamiento de las señales obtenidas por los sensores, el encapsulamiento de la información y el envío de la misma mediante un protocolo de comunicación síncrona hacia el dispositivo NRF24l01 el cual es el encargado de formar la WSN y la transmisión/recepción de la información dentro de la topología inalámbrica.

Palabras Clave:

RSI, Eficiencia energética, seguridad, protocolo, atenuación, Shocburst.

ABSTRACT

This project describes a security and energy control system for the facilities of the Parish GAD of Benitez. This makes it possible for the GAD to achieve an energy saving since the lighting system is being controlled and at the same time guarantees safety due to a network of sensors that generate auditory alerts in order to inform the public about the presence of persons without respecting the corresponding protocol of entry, it is also made known to one of the users by means of a cellular telephone call on the mishap.

For this purpose, the use of free hardware platforms, sensors with standardized voltage outputs, the use of the Shockburst protocol for local communication within the GAD installations and the use of the GSM protocol for alert telephone calls to the user.

In order to guarantee the operation of the system communications, a mathematical analysis has been chosen by means of the Multi-wall model which takes into account the losses by walls and floors, in order to select the necessary power that the NRF24101 devices must transmit so as not to have errors in communication. The structure of each sensor node consists of a central controller, which provides the means of digitizing and processing the signals obtained by the sensors, encapsulating the information and sending the same by means of a synchronous communication protocol to the device NRF24101 which is responsible for forming the WSN and the transmission / reception of information within the wireless topology.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

- **Arduino:** Es una placa de circuito impreso con un microcontrolador Atmel de arquitectura AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida los cuales pueden conectarse a placas de expansión.
- **ARM:** Arquitectura RISC de 32 bits para computadoras de bolsillo.
- **AVR:** Familia de microcontroladores RISC del fabricante Atmel.
- **Hardware:** Conjunto de elementos o materiales físicos que constituyen un sistema electrónico informático.
- **ISM:** (Industrial, Scientific and Medical) son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.
- **LED:** Light Emiting Diode.
- **Microcontrolador:** Circuito integrado programable, capaz de almacenar y ejecutar ordenes pre-grabadas en su memoria.
- **NRF24l01:** Dispositivo basado en el chip NRF24 de la empresa Nordic que ofrecen una solución de bajo coste para aplicaciones de RF.
- **PCB:** Placa de Circuito Impreso (Print Circuit Board).
- **PWM:** Modulación por Ancho de Pulso) Pulse Width Modulation.
- **RF:** Radio Frecuencia.
- **RISC:** Computadora de Instrucciones Reducidas (Reduced Instruction Set Computer).
- **Shockburst:** Protocolo básico que soporta la comunicación bidireccional de paquetes de datos incluyendo el almacenamiento en búfer, el reconocimiento y la retransmisión automática de paquetes perdidos.
- **WSN:** Red de Sensores Inalámbrica (Wireless Sensor Network).

INTRODUCCIÓN

La creciente tecnología y su papel en la sociedad actual hace que se tengan nuevas y mejoradas soluciones tanto al control de energía como a la seguridad dentro de los edificios de las instituciones. Desde la aparición de las redes de sensores se ha visto un creciente desarrollo en la reinención de sistemas de seguridad los cuales son mas eficientes, registran cualquier evento fuera de lo normal y garantizan al usuario la funcionalidad. Así mismo hoy en día existen sensores que son capaces de registrar la movilidad dentro de una determinada área y en función del algoritmo programado estos deben controlar al sistema de iluminación o detectar la presencia de intrusos, generando un ambiente de tranquilidad y al mismo tiempo ahorrando energía de la institución.

El proyecto se encuentra distribuido en el Capítulo I se describe la problemática generada por la delincuencia en los edificios de las instituciones así como el consumo elevado de energía debido al sistema de iluminación artificial y climatización, lo cual ha cuasado que se paguen altas facturas y al mismo tiempo sean víctimas de la delincuencia en varias ocasiones.

En el Capítulo II se ha de detallar un análisis previo acerca de trabajos investigativos en repositorios públicos y revistas indexadas relacionados con seguridad en edificios y sistemas de control energético dentro de los mismos, tanto del ámbito investigativo como del comercial. Además de la fundamentación que sustenta el presente proyecto de titulación, culminando en la propuesta que da solución a la problemática expuesta en el Capítulo I.

El Capítulo III esta compuesto por la información de la metodología utilizada para desarrollar todo el proyecto de titulación propuesto.

En el Capítulo IV se describe en forma detallada y sistemática el desarrollo del Sistema de Seguridad y Control Energético mediante una Red de Sensores para el GAD Parroquial de Benítez y cada uno de sus componentes cumpliendo con los objetivos planteados al inicio.

Finalmente en el Capítulo V se presentan las conclusiones obtenidas en el trabajo

de investigación desarrollado en los capítulos anteriores así como las respectivas recomendaciones que eviten problemas en posteriores trabajos de investigación que se deriven del presente.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema de Investigación

Sistema de Seguridad y Control Energético mediante una Red de Sensores para el GAD Parroquial de Benítez

1.2. Planteamiento del problema

El consumo energético en los edificios de las instituciones públicas del país en los últimos años fue excesivamente alto (ver figura 1.1), esto debido al desarrollo en cuanto a los servicios que estos brindan a la ciudadanía en general, lo que conlleva a un mayor consumo energético que normalmente no es eficiente [1].

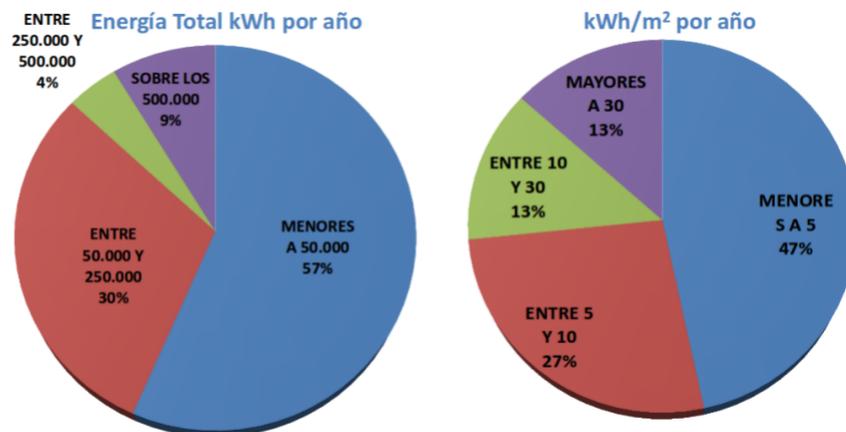


Figura 1.1: Consumo energético en edificios públicos en los últimos años [1].

Este consumo se debe principalmente al descuido de los funcionarios dentro de sus oficina, que al utilizar dispositivos eléctricos y electrónicos los dejan encendidos, consumiendo energía que puede ser utilizada en otras aplicaciones.

La inexistencia de un sistema de control y gestión de energía hace que el desperdicio de

la misma se prolongue en horas nocturnas, esto se traduce en costes elevados en cuanto a planillas de energía eléctrica provocando pérdidas económicas al estado. Por otro lado la falta de sistemas de seguridad en los GADs provoca vulnerabilidad y pueden ser víctimas de la delincuencia que además de la pérdida de equipos, se pierde información valiosa de la ciudadanía del sector.

En Tungurahua, el desperdicio de energía eléctrica en instituciones públicas se produce en horas laborables puesto que el sistema de iluminación artificial de los edificios es manual, en muchos de los casos la iluminación permanece encendida en presencia de la luz natural desperdiciando grandes cantidades de energía en este aspecto; por otro lado, existen zonas sin seguridad en los edificios, haciendo que estas entidades sean vulnerables a la delincuencia.

En el GAD parroquial de Benítez al no existir un sistema inteligente de control energético, la energía desperdiciada en horas laborables representa una gran proporción en la planilla de energía eléctrica puesto que el sistema de iluminación artificial es ineficiente, además en horas de la noche al no contar con personal u otro mecanismo de seguridad, se han producido robos de los equipos en varias ocasiones perjudicando a la institución y a la ciudadanía en general.

1.3. Delimitación

1.3.1. De Contenidos

Área Académica:

Comunicaciones.

Línea de Investigación:

Tecnologías de Comunicación.

Sublínea:

Comunicaciones Inalámbricas.

1.3.2. Temporal

El proyecto de investigación descrito, se desarrolló en el período Abril 2017 - Septiembre 2017 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de graduación para obtener el título terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato..

1.4. Justificación

Uno de los mayores consumidores de energía dentro de las instituciones públicas son: el sistema de iluminación artificial y los dispositivos electrónicos de bombeo de agua y climatización [2]. Por esa razón, Un sistema de control energético en el GAD Parroquial de Benítez permitirá automatizar, supervisar y controlar en tiempo real el funcionamiento de los sistemas de iluminación artificial y climatización, lo cual, además de influir de manera favorable en el ahorro energético, puede evitar la ocurrencia de averías.

Las instituciones públicas del área rural son vulnerables a la delincuencia debido a que en muchos de los casos no existe personal de seguridad o sistemas de vigilancia implementados, por lo tanto al implementar este sistema, se proporcionara seguridad en horas nocturnas de manera eficiente para evitar el robo de equipos que podría alterar la forma en la que la institución brinda servicios a la parroquia de Benitez.

La gestión energética y la seguridad dentro de los edificios públicos es de vital importancia, ya que influye en la forma y rapidez con la que la institución proporciona servicios a la sociedad beneficiando directamente a las personas del sector. Un sistema inteligente garantiza el constante suministro eléctrico y evita el robo de los equipos en los cuales reposa valiosa información del sector, por lo que indirectamente ayuda al personal que en proporción libera con su carga de trabajo.

El presente proyecto se implementó con tecnologías inalámbricas de fácil configuración, fácil implementación y bajo costo, Además, se utilizó plataformas de hardware libre en los nodos de la red con el objetivo de obtener un sistema de bajo costo, confiable y amigable con el usuario que sea capaz de optimizar el consumo de energía eléctrica de manera eficiente y garantice seguridad en la institución. Por lo expuesto anteriormente, el presente proyecto es factible para su implementación en el GAD parroquial de Benítez.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

- Diseñar un sistema de seguridad control energético mediante una red de sensores para el GAD parroquial de Benítez.

1.5.2. Específicos

- Analizar la situación actual del sistema de iluminación artificial y las seguridades del GAD parroquial de Benitez.
- Diseñar una red de sensores para el control de energía y seguridad del GAD parroquial de Benítez.

- Diseñar una aplicación de monitoreo y notificación de alarmas para las instalaciones del GAD parroquial de Benitez.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

Los sistemas domóticos en instituciones públicas se impulsan con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y alcanzar una mayor calidad en la prestación de los servicios a la ciudadanía. Además, del ahorro energético, estos sistemas añaden confort, seguridad y protección tanto para el usuario como para las mismas instalaciones de la institución, además de facilitar el trabajo del personal, prolongar la vida útil de los equipos, y aumentar la eficacia y la eficiencia en la toma de decisiones [2]. La mayoría de las propuestas de control energético investigadas, se han enfocado en establecer una serie de consejos que promueven el buen uso que se les debe dar a los diversos equipos eléctricos y electrónicos para conseguir un ahorro energético. Dichas propuestas han sido implementadas tomando en cuenta únicamente ciertos aspectos técnicos, tales como: investigación y definición de los equipos que mayormente consumen energía eléctrica y comparación entre equipos de igual rendimiento pero con distintas tecnologías. En cuanto a seguridad se han propuesto soluciones con sistemas de notificación instantánea tanto al usuario como a los organismos de orden público cuando las puertas son forzadas o se detecta presencia anormal en las instituciones.

Zhang Lin, Chang Tianying, Cui Hongliang, Tian Xianzhong y Wang Zhongmin en China desarrollaron un prototipo de control para edificios, mediante una red de sensores infrarrojos, sensores de presión y sensores ópticos, estos datos son recogidos y enviados a un controlador central. El sistema ilumina y climatiza adecuadamente cada una de las habitaciones, creando un entorno agradable para el personal del edificio, mientras en horas nocturnas al detectar presencia anormal notifica al instante el suceso a el administrador [3].

Štefan Kozák, Anton Pytel y Peter Drahoš en Eslovaquia desarrollaron un modelo de control para edificios inteligentes basado en un controlador central que mediante protocolos HTTP, SMTP, RSS y UpnP lleva los datos a un servidor formado por un Raspberry Pi. El sistema controla de manera automática toda la edificación y el administrador puede

monitorizar el edificio desde cualquier lugar mediante internet [4].

Nagender Suryadevara, Subhas Mukhopadhyay, Sean Kelly y Satinder Gill han diseñado un sistema para la medición del consumo de electricidad mediante una red de sensores inalámbricos bajo el estándar IEEE 802.15.4, los datos son recogidos individualmente por cada uno de los sensores y transmitidos mediante módulos Zigbee en topología malla (para aumentar la eficiencia de la red) hacia una base de datos alojada en un servidor. El administrador puede acceder a estos datos desde cualquier dispositivo para controlar el edificio y estimar su planilla de energía eléctrica [5].

Ashish Pandharipande, David Caicedo y Xiangyu Wang proponen un sistema de control individual de iluminación dentro de las oficinas de un edificio mediante dispositivos móviles autorizados mediante comprobación MAC. El dispositivo móvil posee una interfaz mediante la cual se controla el sistema de iluminación artificial en conjunto con la presencia de luz natural [6].

Gang Wang en Mexico, propone un sistema de control para edificaciones mediante la utilización de la red inalámbrica 802.11 presente dentro de los mismos. Esto facilita las tareas de automatización dentro del edificio ya que proporciona control desde hosts remotos garantizando un gran nivel de seguridad. Se automatizó tareas como climatización, iluminación, y ahorro energético con el fin de proporcionar un ambiente confortable para las personas [7].

Ninacuri Jorge y Sánchez Néstor en Riobamba implementaron un sistema de control domótico de iluminación en el edificio de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento utilizando microcontroladores de 8 bits programados en lenguaje C, en vista de ser más económicos y versátiles para la mayoría de aplicaciones de esta índole, Se automatizó totalmente el sistema de iluminación artificial del edificio haciendo que este funcione en los momentos adecuados, obteniendo un notable ahorro energético [8].

Roger Román en Bucaramanga propone el estudio, diseño y construcción de un modelo funcional de sistema domótico para el control de iluminación y monitoreo del consumo eléctrico para viviendas unifamiliares de estrato socio-económico medio alto en la ciudad, con el fin de tener un acercamiento a estas tecnologías aportando una nueva herramienta dentro del diseño sostenible moderando el consumo excesivo de energía eléctrica [9].

Luis Velarde en Lima diseña un sistema de seguridad contra intrusión para edificios de departamentos sensores desplegados dentro de una vivienda y conectados mediante la tecnología inalámbrica Zigbee, haciendo de la misma un lugar seguro, confortable y tranquilo para los usuarios [10].

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Red de Sensores Inalámbricos

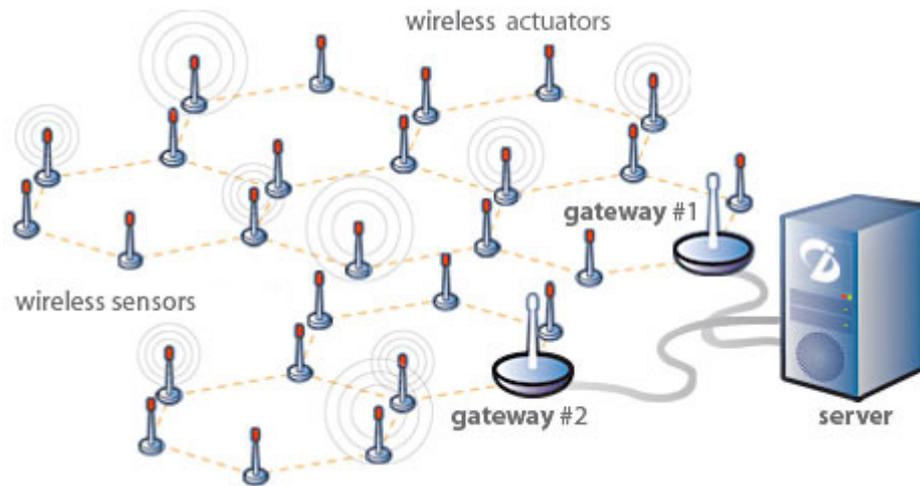


Figura 2.1: Red de Sensores Inalámbricos [11]

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica que consiste en dispositivos distribuidos espaciados autónomos utilizando sensores para monitorizar condiciones físicas o ambientales. Un sistema WSN incorpora un gateway que provee conectividad inalámbrica de regreso al mundo de cables y nodos distribuidos (vea Figura 2). El protocolo inalámbrico que se selecciona depende en los requerimientos de la aplicación. Algunos de los estándares disponibles incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 Mhz [11].

Aplicaciones de una Red de Sensores Inalámbricos

Se han creado aplicaciones WSN para diferentes áreas incluyendo cuidado de la salud, servicios básicos y monitoreo remoto. En el cuidado de la salud, los dispositivos inalámbricos vuelven menos invasivo el monitoreo a pacientes y posible el cuidado de la salud. Para servicios básicos como electricidad, alumbrado público y ayuntamientos de agua, los sensores inalámbricos ofrecen un método de bajo costo para un sistema de recolección de datos saludable que ayuden a reducir el uso de energía y mejor manejo de recursos. El monitoreo remoto cubre un amplio rango de aplicaciones donde los sistemas inalámbricos pueden complementar sistemas de cable reduciendo costos de cableado y permitiendo nuevos tipos de aplicaciones de medición [11]. Aplicaciones de monitoreo remoto incluyen:

- Monitoreo ambiental de aire, agua y suelo.
- Monitoreo estructural para edificios y puentes.

- Domótica e Inmótica.
- Monitoreo industrial de maquinas.
- Monitoreo de procesos.
- Seguimiento de activos.

2.2.2. Sistemas de Control Energético

El ahorro energético se ha convertido para las instituciones en una cuestión absolutamente imprescindible y para muchas de ellas sencillamente estratégica. Es necesario entonces adoptar soluciones tecnológicas adecuadas, dejando de ser esta una tarea sencilla y pasando a requerir un alto nivel de profesionalismo y especialización. El ahorro de energía, es decir el uso racional y eficiente de la misma, surge como una necesidad invaluable en todos los campos de la actividad humana [12].

Beneficios:

- Aumento del control sobre los Dispositivos. Estadísticas de utilización de los circuitos, que permiten optimizarlos, detectar problemas y optimizar el mantenimiento predictivo.
- Mejora de la imagen institucional por adoptar estrategias de ahorro Energético.
- Mejora de la calidad del ambiente para el usuario.

Sistemas Electrónicos de Seguridad

La integración de varios mecanismos en una única solución informática de control y gestión que permite el monitoreo, la supervisión de viviendas, edificios, etc. Los mecanismos que integran estos sistemas de seguridad son:

CCTV y Tratamiento Inteligente de Imágenes

Se trata de circuitos de video digital que funcionan sobre redes IP. Las cámaras dispuestas en lugares estratégicos, según el ámbito físico a controlar, resisten condiciones climáticas adversas y cuentan con sistemas infrarrojos, logrando así cubrir los más mínimos detalles [13].

Control de Accesos

Con esta aplicación mediante credenciales personales, se verifica rápidamente los perfiles de las personas que circulan y su destino dentro de los diferentes sectores de las instalaciones del edificio. Puede complementarse además con controles biométricos para un mayor nivel de seguridad y de autenticación de identidad [13].

Detección Anti-intrusión y Perimetral

Consiste en sistemas dirigidos a la detección de intrusiones que, en caso de alarma, activan dispositivos como sirenas y flashes. También tiene la capacidad de registrar movimientos a través de acciones programadas, ya sea grabación o, en caso de intrusiones, visualización automática [13].

2.2.3. Domótica en edificios



Figura 2.2: Sistema de seguridad domótico [14].

La domótica aplicada a edificios es un conjunto de servicios proporcionados por sistemas electrónicos integrados que permiten satisfacer las necesidades básicas de seguridad, comunicación, gestión energética y confort del hombre y de su entorno laboral dentro de la institución. Desde hace muchos años atrás ya se ha tratado de automatizar los edificios con el fin de disminuir costos y elevar la eficiencia de los mismos. Es así que el rápido avance de la tecnología ha creado soluciones de bajo coste y con estrategias cada vez más sofisticadas para el control de las variables presentes en las diferentes partes de un edificio desde el punto de vista tanto del confort y seguridad de los individuos, así como en los aspectos energético y ambiental [2].

Los sistemas domóticos en instituciones públicas se impulsan con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y alcanzar una mayor calidad en la prestación de los servicios a la ciudadanía. Además, del ahorro energético, estos sistemas añaden confort, seguridad y protección tanto para el usuario como para las mismas instalaciones de la institución, además de facilitar el trabajo del personal, prolongar la vida útil de los equipos, y aumentar la eficacia y la eficiencia en la toma de decisiones. Actualmente, con una tecnología mucho más madura y con una nueva visión de las necesidades a cubrir, tres aspectos fundamentales que permiten justificar la inversión en una instalación domótica [14]:

Ahorro energético

Cada vez son más los aparatos eléctricos que se incorporan en edificios públicos, de forma que el consumo de energía puede llegar a ser importante. Mediante un sistema domótico es posible implementar mecanismos que regulen y optimicen dicho consumo, como el control de la climatización y regulación de la temperatura por zonas; la utilización de electrodomésticos en tarifa nocturna; la iluminación por detección de presencia; el riego controlado por sensor meteorológico; la desconexión automática de dispositivos, etc [14].

Seguridad

La evolución y el crecimiento económico del “mundo occidental” en los últimos años ha hecho que poco a poco se incorporen elementos más sofisticados. Para asegurar la integridad de las personas y de los edificios, una instalación domótica puede proporcionar mecanismos como detección de intrusos; simulación de presencia; conexión con centrales de alarma; alarmas de salud o alertas médicas (teleasistencia); alarmas técnicas: Incendios, fugas de agua o gas; control de accesos, etc [14].

Comunicaciones

Las comunicaciones juegan un papel fundamental en el momento actual, y constituyen un elemento estratégico para el desarrollo de servicios impensables hace algunos años. Mediante un adecuado sistema de comunicaciones integrado con el sistema domótico es posible establecer comunicaciones en el interior del edificio, desde el interior hacia el exterior y viceversa. Por ejemplo, se podría distribuir imágenes y sonido por el interior del edificio; manejar internamente el sistema a través de mando a distancia; enviar alarmas y señales hacia el exterior; realizar un control remoto del sistema a través de teléfono fijo, móvil, PDA, Internet, etc [14, 15].

2.2.4. Eficiencia Energética y Ahorro Energético

El nuevo combustible de la actualidad se llama “Eficiencia Energética” y es la preocupación por el medio ambiente lo que genera la necesidad de ahorrar energía y evitar que toneladas de contaminantes se arrojen a la atmósfera. Mejorar la eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado público está normalmente relacionado con el cambio de la fuente de luz, pero esto no significa que una fuente de luz consuma menos que otra sino en la forma en que ilumina y la superficie máxima que ilumina lo que hace que se requiera más o menos luminarias entre una tecnología u otra y de aquí se obtiene el ahorro energético del sistema [16].

El ahorro energético es la práctica de reducir la cantidad de energía utilizada para una actividad en particular sin poner en riesgo los resultados. De acuerdo con muchas organizaciones como la Agencia Francesa para la Gestión de la Energía (ADEME) o CLER,

la eficiencia energética debería ser una parte esencial de toda política de energías renovables [16, 17].

La gestión de la energía combina el uso de muchas técnicas de eficiencia energética con el objetivo de reducir el consumo de energía, para obtener un ahorro económico y reducir el impacto medioambiental. Algunas veces se le denomina uso racional de la energía (URE). Los lemas de los que practican la eficiencia energética es “reducir, reutilizar y reciclar”, y “la energía más barata es la que no consumimos” [17].

2.2.5. Propagación de ondas electromagnéticas en ambientes abiertos y cerrados

La propagación de señales en interiores y exteriores es un acontecimiento complejo. Estos entornos afectan la comunicación de manera significativa debido a la gran cantidad de obstáculos entre el transmisor y el receptor y al dinamismo de la señal, produciendo fenómenos como la refracción, la reflexión y dispersión, esto genera trayectorias multicamino (fenómeno causante del desvanecimiento de la señal)[24].

Interferencias en la banda de 2.4 GHz

Los dispositivos que trabajan en la banda de 2.4 - 2.483 GHz son susceptibles de recibir interferencias producidas por otros dispositivos que transmiten en la misma banda debido al uso extendido de la misma en varias tecnologías como wifi, bluetooth, etc. A esta banda se la denomina ISM, caracterizada por operar en un espectro de radio donde no se necesita una licencia para operar y permitir la creación de todo tipo de redes tanto digitales como analógicas [24].

Existen tres desventajas principales del uso de la banda libre:

- Interferencias producidas por otros dispositivos que transmiten en esta banda como Bluetooth, WiMax, Wi-Fi o teléfonos inalámbricos.

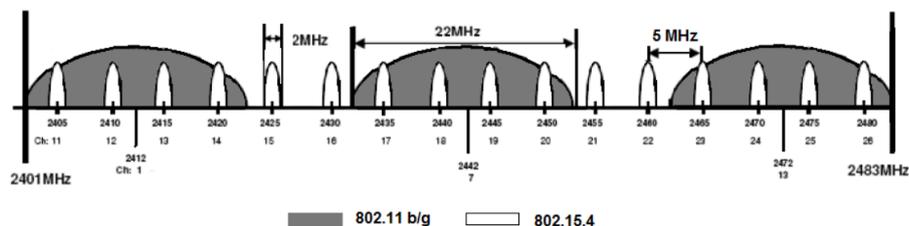


Figura 2.3: Ocupación de la banda de 2,4 GHz según IEEE 802.15.4 y 802.11b/g. [24]

- Generalmente, la potencia que puede transmitirse está limitada por los organismos reguladores del gobierno y entidades internacionales que rigen el uso de esta banda.

Las bandas de frecuencia licenciadas permiten transmitir información libre de interferencias pero la razón por la cual la mayoría de empresas o personas se alejan del uso de estas frecuencias es por su elevado coste.

2.2.6. Plataformas de Hardware Libre

El término hardware libre se ha usado principalmente para reflejar el uso del software libre con el hardware y el lanzamiento libre de la información con respecto al dispositivo, a menudo incluyendo diagramas esquemáticos, diseños, tamaños, distribución de los elementos en la tarjeta electrónica y otra información acerca del mismo [18].

Ventajas del Hardware Libre

- Independencia tecnológica, los usuarios no dependen de terceros que proveen recursos necesarios para su desarrollo.
- Favorece la calidad del hardware, a los estándares abiertos y que sean más económicos.
- El trabajo colaborativo sobre los diseños permite la reutilización y la adaptación de los mismos.
- Disminuye los costos y tiempos de diseño en sus trabajos.
- Se libera a los productores de los propietarios de alianzas globales.

Desventajas del Hardware Libre

- Los diseños son específicos y únicos, dificultando su reproducción.
- La reproducción implica la prueba de los componentes, luego la fabricación del dispositivo, lo que eleva los costos.
- La disponibilidad de los chips no es la misma en todos los países.
- La fabricación de hardware lleva implícito infraestructura de diseño, simulación, producción e implementación, al contrario de lo que se da en el software libre.

2.2.7. Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Permite realizar proyectos interactivos de manera sencilla tanto a nivel de software como de hardware, cuya diferencia con otras placas y microcontroladores radica en que los entornos de desarrollo, lenguaje de programación de Arduino y las placas en las que se ejecutan han sido desarrollados de la mano, por lo que asegura la compatibilidad y la sencillez del manejo de ellas.[18, 19]



Figura 2.4: Tarjetas electrónicas de código abierto Arduino [19].

Arduino consiste en una placa con un microcontrolador y una serie de puertos de entrada y salida. Los microcontroladores AVR más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños, aunque también existen microcontroladores CortexM3 de ARM de 32 bits, ARM y AVR son plataformas diferentes, pero los programas se compilan y luego se ejecutan sin cambios en cualquiera de las plataformas [19].

2.2.8. Transreceptor NRF24101

Este módulo usa un nuevo transceptor de la compañía Nordic Semiconductor, el nRF24L01+ e incorpora adicionalmente extra pipelines, buffers, y un modo de auto retransmisión. El módulo utiliza 8 pines para su interfaz externa y funciona con el estándar de comunicación SPI [20, 21].



Figura 2.5: Transreceptor NRF24101 [21].

Características:

- Operación en la banda ISM 2.4Ghz “ver tabla 2.1”.
- Velocidad de transmisión programable 250 Kbps, 1Mbps y 2Mbps “ver tabla 2.1”.

Tabla 2.1: Características generales de frecuencia del chip NRF24L01 [21] .

Parámetro	Min.	Max.	Unidades
Frecuencia de Operación	2400	2525	MHz

Resolución PLL			MHz
Frecuencia del cristal			MHz
Desviación de frecuencia a 250kbps			KHz
Desviación de frecuencia a 1Mbps			KHz
Desviación de frecuencia a 2Mbps			KHz
Velocidad de datos en el aire	250	2000	kbps
Espaciamiento de canal 250kbps a 1Mbps			MHz
Espaciamiento de canal 2Mbps			MHz
Intensidad en modo sleep	900	950	nA
Intensidad en modo reposo 1	26	27.5	uA
Intensidad en modo reposo 2	320	350	uA
Intensidad en modo Tx (0dBm)	11.3	12	mA
Intensidad en modo Rx a 2Mbps	13.5	15	mA
Intensidad en modo Rx a 1Mbps	13.1	15	mA
Intensidad en modo Rx a 250Kbps	12.6	14.8	mA

- Baja potencia de operación “ver tabla 2.1”.
- Voltaje de alimentación desde 1.9 a 3.6V.
- ShockBurst mejorado.
- Retransmisión automática de paquetes.
- Compatible con nRF24L01+.
- En espacio libre compatible con nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 y nRF24E2 a velocidades de 250kbps y 1Mbps.
- Bajo costo.
- ± 60 ppm con cristal de 16MHz.
- Entradas tolerantes a 5V.
- Compacto 20-pines 4x4mm con empaquetado QFN.

Aplicaciones

- Periféricos de PC inalámbricos.
- Mandos a distancia.
- Centros multimedia avanzados.
- Auriculares VoIP.

- Relojes deportivos con sensores.
- Controles de Videojuegos.
- Controles remotos RF para dispositivos electrónicos de consumo.
- Automatización domestica y comercial.
- Redes de sensores de ultra baja potencia.
- RFID activo.
- Juguetes.

2.2.9. GSM/GPRS

EL GSM (Global System for Global Communications) es el sistema de comunicaciones que más se utiliza en teléfonos móviles y es un estándar Europeo. La primera funcionalidad de esta tecnología es la transmisión de voz, pero también permite la transmisión de datos (SMS, Internet), eso sí, a una velocidad muy baja de 9 Kbps.

El GPRS (General Packet Radio Service) es una extensión del GSM basada en la transmisión por paquetes que ofrece un servicio más eficiente para las comunicaciones de datos, especialmente en el caso del acceso a Internet. La velocidad máxima (en teoría) del GPRS es de 171 Kbps, aunque en la práctica es bastante más pequeña.[22].



Figura 2.6: Componentes de un servidor LAMP [22].

GSM SIM900

Esta es una tarjeta GPRS ultra compacta de comunicación inalámbrica. La tarjeta es compatible con todos los modelos de Arduino con el formato UNO, además puedes controlarla con otros microcontroladores también. La tarjeta está basada en el módulo SIM900 4. La tarjeta GPRS está configurada y controlada por vía UART usando comandos AT. Solo conecta la tarjeta al microcontrolador, Arduino, etc, y comienza a comunicarte a través de comandos AT. Ideal para sistemas remotos, comunicación recursiva, puntos de control, mandar mensajes de texto a celulares, etc.

Especificaciones

- Totalmente compatible con ArduinoConexión con el puerto serial.
- Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 Mhz
- GPRS multi-slot clase 10/8GPRS
- mobile station clase B
- Compatible GSM fase 2/2+Clase 4 (2 W (AT) 850 / 900 MHz)
- Clase 1 (1 W (AT) 1800 / 1900MHz)
- TCP/UP embebido
- Soporta RTCConsumo de 1.5 mA (susp)

2.3. Propuesta de Solución

Un sistema de seguridad y control energético implementado en el GAD parroquial de Benítez permite controlar el consumo de energía de forma eficiente obteniendo así un ahorro energético, además se mejoró la seguridad de las instalaciones de la institución.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Tipo de investigación

Se tomó en cuenta una investigación aplicada, cumpliendo objetivos fundamentales como el resolver problemas prácticos que otorgue el desarrollo de la investigación.

Se realizó una investigación bibliográfica documental que registró una descripción concreta y concisa de los avances que se obtengan durante el presente desarrollo del proyecto de investigación, estudiando los problemas con el propósito de solucionarlos y hacer énfasis en el conocimiento según los requerimientos del proyecto de investigación presente.

Además se realizó una investigación de campo la que determinó los problemas que puedan existir, con el fin de obtener y recopilar información que será útil para el desarrollo del proyecto y de las necesidades que el proyecto denote.

Investigación Experimental

Porque proporcionó datos fiables que permitieron el diseño de la red de sensores así como la implementación del sistema de monitoreo remoto, todo esto determinó la solución del problema central.

3.1. Población y muestra

Por la característica de la investigación, no se requiere población y muestra.

3.2. Recolección de información

Para la recolección de información se tomó en cuenta fuentes bibliográficas, también llamadas de referencia, las cuales son documentos secundarios que recogen la referencia, esto es, la presentación de otros documentos como los repositorios de publicaciones disponibles dentro de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial en la Universidad Técnica de Ambato.

Se acudió a diversos lugares de fuentes de información como institutos de investigación, videotecas, librerías, archivos, revistas.

3.3. Procesamiento y análisis de datos

Una vez aplicada la metodología de investigación se analizó la validez de la información recolectada y se mostró el estado actual del GAD parroquial de Benítez, cuáles son las vulnerabilidades y cuanta energía se desperdicia. Se ejecutó un análisis integral en base a juicios críticos obtenidos del marco teórico, objetivos y variables de la investigación.

Luego se analizó las tecnologías más eficientes y de menor costo aplicadas a redes de sensores y sistemas domótico basado en datos técnicos obtenidos de libros, revistas y artículos científicos se para finalmente estructurar una propuesta pertinente enfocada a mejorar la seguridad y la eficiencia energética en el GAD parroquial de Benítez.

3.4. Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del proyecto se ejecutó las siguientes actividades:

1. Analizar la situación actual del sistema de iluminación artificial y climatización en las instalaciones del GAD parroquial de Benitez.
2. Definir los puntos vulnerables en las seguridades actuales en las instalaciones de la institución.
3. Contrastar las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías utilizadas en sistemas de control energético y sistemas de seguridad electrónicas.
4. Determinar estándares a utilizar en los sistemas en base a parámetros técnicos de seguridad y fiabilidad.
5. Diseñar una red de sensores inalámbricos dentro de las instalaciones del GAD parroquial de Benítez.
6. Diseñar un sistema de notificación de alarmas remotas para el GAD.
7. Implementar el sistema de seguridad y control energético en las instalaciones del GAD parroquial de Benítez.
8. Ejecutar pruebas de funcionamiento del Sistema domótico.
9. Corregir errores en el sistema con el fin de aumentar la fiabilidad y confiabilidad del mismo.
10. Elaborar el informe escrito del proyecto.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Una vez analizado el marco teórico se propone un sistema de seguridad para las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez basado en una red de sensores inalámbrica bajo el protocolo Shockburst para comunicaciones, un control de acceso, sensores de presencia, sensores de movimiento y un sistema de activación de alarmas tanto locales como remotas con el fin de garantizar el no ingreso de personas fuera de horas laborables, por otro lado los sensores de movimiento en el periodo laborable del GAD sirven para mantener un control energético preciso sobre el sistema de iluminación artificial obteniendo un ahorro energético para la institución. A continuación «ver figura 4.1» se detallan las etapas que componen el sistema de seguridad y control energético propuesto.

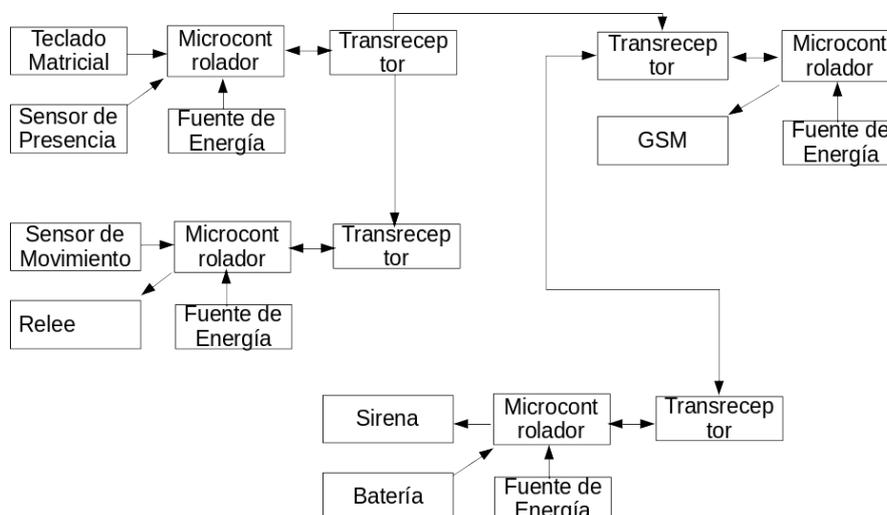


Figura 4.1: Esquema General del sistema propuesto.
Fuente: Investigador

El esquema brinda un concepto específico de las etapas del sistema de sensorización, el sistema de procesamiento de datos, el sistema de comunicación y el sistema de alimentación. Con el objetivo de reducir la complejidad y la comprensión de cada uno de los dispositivos a detallarse y la función que recae sobre estos. Tomando como punto inicial la etapa de sensorización ha de desarrollarse un análisis preliminar para la correcta

selección de los sensores que garanticen la seguridad y el ahorro energético en el GAD Parroquial de Benítez.

4.1. Análisis para la selección de los sensores de adquisición.

Uno de los aspectos mas importantes a considerar en el transcurso de la presente propuesta es la selección de los sensores que permitan mantener la seguridad en horas nocturnas y mantener un control energético en horas del día, basandonos en la teoría analizada en capítulos anteriores sobre las distintas metodologías de detección de intrusos en espacios cerrados así como el control del sistema de iluminación artificial en edificios, se han optado por los siguientes:

Sensor de Distancia

Una de las áreas del GAD Parroquial de Benítez es la entrada principal donde se necesita que se detecte la presencia de personas puesto que en este lugar estará ubicado el teclado de desbloquea el sistema de alarmas y en caso de no ingreso de contraseña el sensor detecta que intrusos ingresaron a las instalaciones del GAD y activa automáticamente la sirena de emergencia y realizara una llamada a una de los funcionarios de la institución para informarle la presencia de individuos extraños dentro del edificio. En la siguiente figura se muestra la forma en que funcionara el sensor de proximidad instalado.

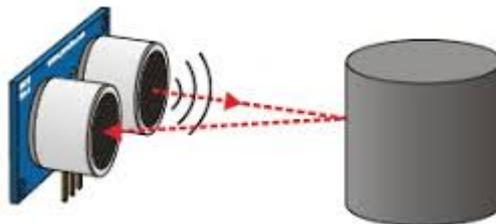


Figura 4.2: Función del sensor de distancia instalado en el pasillo de la entrada del GAD Parroquial de Benítez [2].

Sensor de Movimiento

El uso de sensores de movimiento de tipo infrarrojos pasivos se ha hecho muy popular en el ámbito del control de sistemas de iluminación artificial, además en sistemas de alarmas comerciales, estos sensores realizan la función de detectar la presencia de intrusos debido al cambio de temperatura que emite el cuerpo humano. Pero en muchos de los casos estos sensores son imprecisos y detectan la presencia de animales pequeños por lo que es necesario tener una calibración precisa de el umbral de detección del mismo. En la figura 4.3 se muestra el funcionamiento del sensor de movimiento el cual controlará el sistema de iluminación artificial en horas del día.

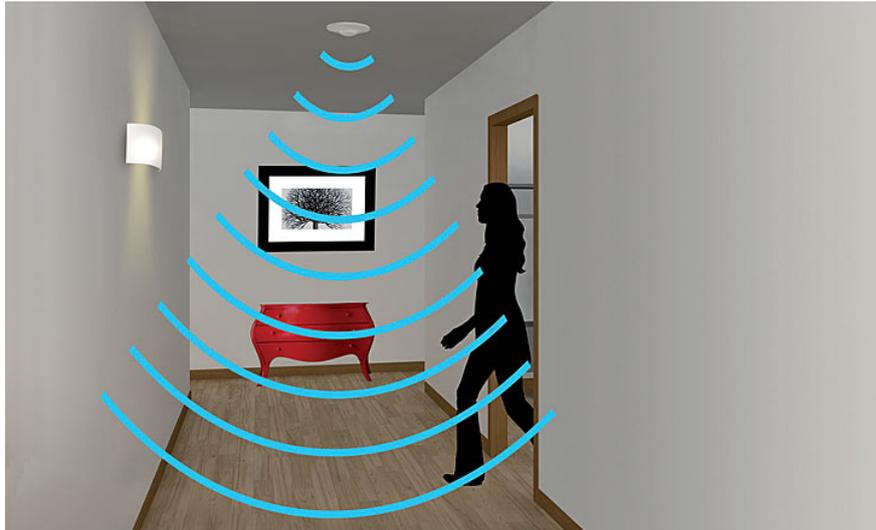


Figura 4.3: Función del sensor de movimiento instalado en el tumbado del pasillo principal del GAD parroquial de Benítez [2][2].

En horas de la noche y mientras se encuentre activado el sistema de alarmas, los sensores de movimiento dejarán de controlar el sistema de iluminación artificial y pasaran a ser detectores de intrusos dentro del edificio del GAD Parroquial de Benítez colaborando así al sistema de seguridad, aumentando la eficiencia del mismo.

4.2. Requerimientos Técnicos

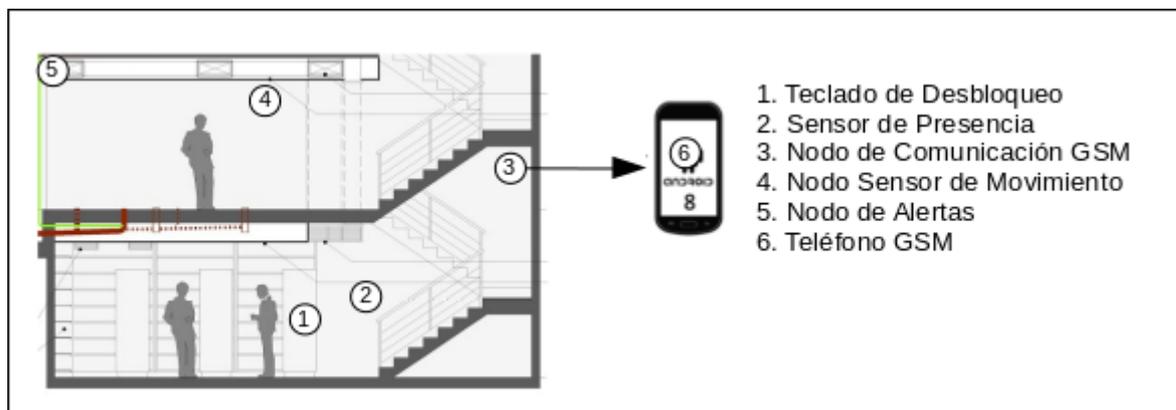


Figura 4.4: Esquema general del Sistema de Seguridad y Control Energético mediante una red de sensores para el GAD Parroquial de Benítez [1].

A partir del esquema general del sistema de seguridad y control energético para el GAD Parroquial de Benítez y las funciones que recae sobre cada uno de los componentes que lo componen, tanto individual como en conjunto. El sistema de seguridad y control energético basado en una red de sensores para el GAD parroquial de Benítez se describe en la figura 4.4.

- **Nodo de Desbloqueo:** Este nodo sensor es el encargado de desbloquear el sistema de seguridad del GAD y activar el sistema de control energético, consta de un controlador central, un teclado matricial, un indicador auditivo y un transreceptor por lo que de manera inalámbrica este nodo informa los eventos generados a los demás nodos de la red para que realicen la respectiva función.
- **Sensor de Presencia:** Este sensor permite detectar la presencia de personas que se han saltado el primer paso del protocolo de desbloqueo del sistema de seguridad, este sensor emite una señal al controlador central y este, mediante el modulo de comunicación activa las alertas con el fin de informar a la ciudadanía que personas extrañas ingresaron a las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez.
- **Nodo de Comunicación GSM:** Esta formado por dos dispositivos de comunicación, el primero permite la comunicación local entre todos los nodos del sistema de seguridad y control energético mientras que el segundo permite una comunicación unidireccional punto a punto del sistema propuesto y un teléfono celular, lo que permite informar al usuario los eventos de violación del protocolo de ingreso a las instalaciones del GAD parroquial de Benítez para la toma de las acciones correspondientes.
- **Nodo Sensor de Movimiento:** Este nodo se encarga de controlar el sistema de iluminación artificial ya sea en forma manual o en forma automática además, otra de las funciones que recae sobre esta etapa es la detección de personas que violaron el protocolo de ingreso a las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez puesto que se pueden dar casos de ingreso a la institución por la parte superior del edificio.
- **Nodo de Alertas:** Sobre este nodo recae la función de informar a la ciudadanía y entidades del orden público que mientras el sistema de seguridad se encuentra activado, algún individuo intento ingresar a las instalaciones del GAD parroquial de Benítez irrespetando el protocolo de ingreso. Esto permite que la institución no sea victima de la delincuencia que por varias ocasiones ya lo ha presenciado.
- **Teléfono GSM:** Dispositivo personal que soporta comunicaciones 2G con el fin de obtener acceso a redes GPRS/GSM que permite la recepción de una llamada con el fin de informar al usuario los eventos generados en el protocolo de ingreso al GAD Parroquial de Benítez.

Por motivos de análisis técnico, es necesario desglosar cada una de las etapas mencionadas con anterioridad para determinar las funciones que recae sobre cada dispositivo que conforman los nodos sensores de la red, los cuales son analizados a continuación.

- **Controlador Central:** Este dispositivo es el motor principal y el cerebro de cada uno de los nodos sensores, sobre este recae las funciones de adquisición de las señales analógicas de los sensores, su procesamiento, su entramado y el envió hacia las demás

etapas de la red de sensores además de la activación de las etapas de potencia para la excitación del sistema de iluminación y la sirena de emergencia.

- **Dispositivo de Comunicación Inalámbrica Local:** Se trata de un dispositivo de corto alcance necesario para la comunicación entre el hardware de cada nodo sensor del sistema propuesto, debe ser de fácil manejo, de dimensiones reducidas y compatible con los controladores centrales tanto a nivel de hardware como de firmware.
- **Fuente de Energía y Batería:** Desempeñan el papel más importante debido a que es la encargada de proveer la energía necesaria a los dispositivos electrónicos que componen cada etapa del sistema de seguridad y control energético.
- **Periféricos de Entrada:** Son los encargados del ingreso de información al sistema de seguridad y control energético debido al protocolo de ingreso, se debe desactivar el sistema de seguridad antes del ingreso a las instalaciones del GAD parroquial.
- **Etapas de potencia:** Son los encargados del control del sistema de iluminación artificial en el GAD parroquial de Benítez en cooperación con los sensores de movimiento permiten el encendido de las luces cuando sea necesario ya sea en forma automática como en forma manual.

En conformidad a lo antes mencionado, el análisis técnico para la determinación de los dispositivos que satisfagan los requerimientos basando todo en los parámetros necesarios presentados en este apartado se describen mediante cada una de las tablas de la siguiente sección.

4.3. Análisis Técnico del Hardware Requerido

Controlador Central

En el campo de placas basadas en plataformas de hardware libre compuestas por microcontroladores para la digitalización de señales, control ON/OFF y manejo de protocolos de comunicación sincrónicos, se presenta una comparativa a través de la tabla 4.1, tomando en cuenta parámetros técnicos y de soporte, costos y accesibilidad a los usuarios que brinden al Sistema de Seguridad y Control Energético las mejores prestaciones.

Tabla 4.1: Análisis técnico comparativo entre los diferentes placas de desarrollo de hardware libre. Fuente: Investigador

Controlador central			
Parámetros	Arduino Nano	Pinguino18F2550	Arduino Uno
Técnicos			

Costo	\$8	\$15	\$18
Dimensiones	18 mm x 45 mm	25 mm x 45 mm	68,6 mm x 53,4 mm
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo
Arquitectura	RISC 8 bits	RISC 8 bits	RISC 8 bits
Voltaje de operación	1,8V a 5,5V	2V a 5,5V	1,8V a 5,5V
Pines I/O	23	24	23
Canales PWM	6	2	6
Pines de entradas analógicas	8	10	8
Corriente máxima en pines	40 mA	25 mA	40 mA
Memoria flash	16 KB	32 KB	16 KB
SRAM	2 KB	2 KB	2 KB
EEPROM	1024 B	256 B	1024 B
Velocidad de reloj	hasta 20 MHz	hasta 48 MHz	hasta 20 MHz
Comunicaciones	I2C, SPI, UART	I2C, SPI, UART, EAUSART	I2C, SPI, UART
Resolución ADC	10 bits	10 bits	10 bits
Interrupciones externas	24	13	24
Interfaz de Programación	FTDI, ICSP	FTDI, ICSP, USB	FTDI, ICSP

Tomando en cuenta cada una de las características técnicas, dimensiones y las implicaciones de cada una de las placas en el desarrollo del Sistema de Seguridad y control energético, se ha tomado al Arduino Nano como el controlador central de cada una de las etapas del sistema propuesto, debido al voltaje y corriente de operación, la cantidad de terminales de entrada y salida necesarias para los sensores y actuadores a utilizarse, la existencia de todas las librerías y documentación necesaria, bajo costo, accesibilidad para cualquier zona geográfica y principalmente sus dimensiones lo cual hace que esta placa sea atractiva para el diseño de nodos sensores.

Dispositivo de Comunicación Inalámbrica Local

Debido al tipo de red de sensores a diseñarse y la compatibilidad con el controlador central tanto a nivel de hardware como de firmware, es obligatorio el uso de un dispositivo que sea capaz de brindar una interfaz inalámbrica que no interrumpa las comunicaciones habituales como WI-FI, WIMAX, etc. Debe ser capaz de irradiar en la banda de 2,4 GHZ, soportar velocidades de transmisión bajas a fin de garantizar la comunicación en interiores, que sea de bajo costo y que trabaje con un protocolo de comunicación compatible con el microcontrolador núcleo del Arduino Nano, dichos parámetros se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Análisis técnico de módulos de comunicación RF. Fuente: Investigador

Módulos de Comunicación RF			
Parámetros Técnicos	NRF24L01	XBEE s2	Bluetooth
			
Costo	\$5	\$42,50	\$9
Dispositivo interno	NRF24	XB24-Z7WIT-004	HC-05
Protocolo	Shockburst	Zigbee	Bluetooth v2.0 + EDR
Interfaz de comunicación	SPI	UART	UART
Velocidad TX	250Kbps, 1 y 2Mbps configurable	250 Kbps	2 Mbps
Nodos por subred	255	255	8
Voltaje de operación	1,9V a 3,6V	2,8V a 3,4V	3,1V a 4,2V
Consumo	11,3 mA Tx 26uA Sleep	40 mA Tx 1uA sleep	50 mA
Frecuencia de trabajo	2,4GHz a 2,525GHz	2,4GHz	2,4 a 2,48 GHz
Antena	interna y externa (lna)	interna y externa (lna)	interna
Antena	100m interna 1km con lna	120m interna 1km lna	20m

Sensibilidad	-90dBm	-94dBm	-80dBm
Retransmisión de paquetes	automática	automática	automática
Corrección de errores	CRC 2 bytes	CRC 4 bytes	CRC 8 bits
Modulación	GMSK	O-QPSK	GFSK
Tamaño	15x29mm	2,43x2,76 cm	12,7x27mm

Analizando las implicaciones de usar dispositivos mencionados con anterioridad, es necesario hacer incapie que por razones de costo, accesibilidad se ha descartado el uso de los dispositivos Zigbee, mientras que por motivos de velocidades de transmisión y alcance se ha descartado el uso de dispositivos Bluetooth. En consecuencia se ha optado por el uso del modulo de comunicación NRF24101, por cuestiones de dimensión, naturaleza de hardware, velocidad de TX y alcance.

Fuente de Energía

La energía suficiente para abastecer a los dispositivos que componen cada uno de los nodos sensores proviene de una fuente de energía de dimensiones reducidas que proporcione 5 V, 1A que sea de prestaciones altas, bajas corrientes parásitas que garantice el correcto funcionamiento del Sistema de Seguridad y Control Energético de las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez. El análisis técnico de las diferentes tipos de fuentes de energía se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Análisis técnico de los tipos de fuentes de energía. Fuente: Investigador

Fuentes de Energía DC		
Parámetros Técnicos	SMPS	Clásica
		
Costo	Costosa	En función de la potencia
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo
Simplicidad de diseño	No	Si
Costosa	Si	Para potencias mayores a 10 W

Respuesta Dinámica	Rápida	Rápida
Auto regulación	Si	En ciertos casos y de forma manual
Eficiencia	> 90 %	Entre 30 % y 60 %
Variación en la relación de transformación	Si	No
Corrientes parásitas en el núcleo	No	Si
Frecuencia de trabajo	Hasta 100 Khz	50/60 Hz
Filtraje	Sencillo	Complejo
Rizado en la salida	Despreciable	Si
Respuesta transitoria en el tiempo	Si	No
Protección ante sobrecargas	Monitoreado a la frecuencia de conmutación	No
Interferencias electromagnéticas	Si	Si
Tamaño	Reducido	No reducido

La fuente de energía eléctrica debe ser del tipo SMPS con una frecuencia de conmutación en el orden de los KHz y con una precisión del 0.01 % y como se menciona anteriormente debe ser de tamaño reducido y debido al tamaño del transformador de este tipo de fuentes las corrientes parásitas son casi nulas por lo que hay bajas probabilidades de errores de procesamiento como de comunicación.

Batería

Una de las etapas que necesita estar energizada ante cortes de energía es el sistema de alertas audibles, la cual esta compuesta por una sirena de emergencia comunicada en forma inalámbrica por lo que es necesaria la utilización de una batería seca que proporcione entre 11V y 13V a una corriente de 4A y que tenga una autonomía de 4 horas. El análisis técnico correspondiente se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Análisis técnico de baterías para seguridad . Fuente: Investigador

Baterías			
Parámetros Técnicos	Batería Seca	Batería con Electrolito	Batería LI-PO
			
Costo	\$13	\$24	\$45
Accesibilidad	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo	En cualquier parte del mundo
Composición de célula	Placas Plomo Seca	Placas de plomo y ácido sulfúrico	Polímero de Litio
Carga Eléctrica	4A	7A	8000 mA
Voltaje	12V	12V	11.3V
Tamaño	62 mm x 36 mm x 20 mm	34 mm x 36 mm x 23 mm	88 mm x 34 mm x 25 mm
Peso	404 g	800 g	146 g
Riesgo de Ignición	No	Si	Si
Monitoreo de Carga	No	No	Si
Monitoreo de temperatura	No	No	Si

Se ha optado por la utilización de baterías de placas de plomo seca debido a su capacidad de almacenamiento energético, accesibilidad y posibilidad de monitoreo de la carga en función del voltaje de la misma batería, las baterías que contienen electrolito así como las baterías de polímero tienden a ser peligrosas puesto que pueden llegar a inflamarse debido a la química de las mismas poniendo en riesgo las instalaciones del GAD. Además las baterías secas son muy utilizadas en sistemas de alarmas, cercos eléctricos debido a la estabilidad, durabilidad, resistencia a la descarga y sobre todo el bajo costo en relación a otros tipos de baterías lo que representa un ahorro en el reemplazo al concluir la vida útil.

Sensor de Presencia

Tabla 4.5: Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de presencia utilizados en Arduino. Fuente: Investigador

Sensor de presencia			
Parámetros	CNY70	HC-SR04	GP2Y0A21YK0F
Técnicos			
Costo	\$0,7	\$3,90	\$9,50
Voltaje de alimentación	2,5V	5V	4,5V a 5,5V
Distancia	80 cm	4m	10cm a 100 cm
Rango	15 grados	15 grados	15 grados
Señal de salida	digital	digital	analógico
Acoplamiento	no	si	si
Temperatura de operacion	-15 a 70 grados celsius	-15 a 70 grados celsius	-10 a 60 grados celsius
Tiempo de retardo	hasta 10 us	10 us	10 us-
Consumo	10mA	15mA	30mA

Para la detección de personas dentro de las instalaciones del GAD se requiere un dispositivo que funcione por efecto de rebote de una señal luminosa que tenga un alcance de 1 metro máximo, que sea de tipo analógico, de dimensiones reducidas y de altas prestaciones. Para lo expuesto anteriormente se ha optado por la utilización de un sensor sharp modelo GP2Y0A21 no lineal, el análisis técnico correspondiente se muestra a continuación en la tabla 4.5.

Sensor de Movimiento

Tabla 4.6: Análisis técnico comparativo entre los diferentes sensores de movimiento utilizados en Arduino. Fuente: Investigador

Sensor de movimiento			
Parámetros	HC-SR501	BX-80N	VX-402
Técnicos			
Costo	\$5	\$12,90	\$9,50

Voltaje de alimentación	5V a 20V	120V	120V
Distancia	7m	24m	30m
Rango	360 grados	180 grados	180 grados
Señal de salida	digital	digital	digital
Acoplamiento	si	no	no
Temperatura de operacion	-15 a 70 grados celsius	-15 a 70 grados celsius	-10 a 60 grados celsius
Tiempo de retardo	hasta 5 min	hasta 10 min	hasta 20 min
Consumo	65mA	230mA	230mA

Para sensar movimiento dentro de las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez se requiere la detección del cambio de temperatura que genera el cuerpo humano con relación al ambiente que lo rodea, los sensores de movimiento mas utilizados en el control de sistemas de iluminación artificial son los sensores infrarrojos pasivos los cuales son capaces de cumplir lo mencionado anteriormente, tienen un angulo de detección bastante amplio y son muy versátiles y con figurables tanto en el tiempo de disparo así como en la sensibilidad del mismo, cabe recalcar que son compatibles con las placas de hardware libre arduino. Para el presente proyecto se utilizó un HC-SR05 y su correspondiente análisis técnico se presenta en la tabla 4.6.

Dispositivo de Comunicación de Larga distancia

Para la notificacion de alarmas al usuario en horas de la noche, se necesita una red inalámbrica de largo alcance que sea capaz de tener cobertura incluso fuera de la parroquia de Benítez, ademas no debe ser costosa la implementación y garantizar la funcionalidad de la misma incluso en circunstancias adversas. El análisis técnico correspondiente se presenta en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Análisis técnico de módulos de comunicación RF. Fuente: Investigador

Módulos de Comunicación de larga distancia			
Parámetros	GSM SIM900	WI-FI ESP8266	Myriad RF
Técnicos			
Costo	\$48	\$5	\$38

Dispositivo interno	GSM SIM900	ESP8266	LMS6002D
Protocolo	GSM	802.11	GSM, 3G, 4G, 802.11x, 802.16
Interfaz de comunicación	UART	SPI	UART
Velocidad TX	57600 bauds	2 Mbps	250Kbps 2 Mbps
Nodos por subred	32	255	32
Voltaje de operación	1,9V a 3,6V	2,8V a 3,4V	3,1V a 4,2V
Consumo	11,3 mA Tx 26uA Sleep	40 mA Tx 1uA sleep	150 mA
Frecuencia de trabajo	800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	2,4GHz - 2,483 GHz	800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2,4GHz - 2,483 GHz
Antena	Interna y externa (lna)	Interna	Externa PA LNA
Antena	1 Km	20 m	5 Km
Sensibilidad	-90dBm	-94dBm	-80dBm
Retransmisión de paquetes	automática	automática	automática
Corrección de errores	CRC 2 bytes	CRC 4 bytes	CRC 16 bits
Modulación	GMSK	O-QPSK	GFSK
Tamaño	88 mm x 29 mm	2,43x2,76 cm	12,7x27mm

Se ha optado por el uso de un modulo GSM SIM900 debido a que no se necesitan equipos adicionales para la comunicación a larga distancia, basta con tener un chip inteligente registrado en la red móvil y se puede recibir las alertas en cualquier sitio que exista cobertura GSM 2G. A diferencia de los dispositivos wifi que para realizar la mismas funciones mencionadas anteriormente se necesita un AP y una conexión a Internet mientras que con la tarjeta myriad RF se tiene un alcance máximo de 5 Km por lo que no es factible.

Dispositivo de conmutación on/off

La etapa de potencia esta determinada por la tecnología de iluminación de la fuente de iluminación utilizada en el GAD Parroquial de Benítez. en lámparas fluorescentes, se necesita un dispositivo conmutador que soporte la corriente que esta dada en las especificaciones del producto, la naturaleza de las lámparas fluorescentes no permite atenuar el flujo luminoso debido a que estas sufren una disminución en la vida útil por las variaciones de potencia suministrada; el dispositivo de conmutación debe ser de tamaño reducido, soportar una corriente de 5A en AC a 250V y poseer la capacidad de activarse con un voltaje de 5V y un transistor digital como elemento de conmutación, el correspondiente análisis técnico se encuentra en la tabla 4.8.

Tabla 4.8: Análisis técnico comparativo entre los conmutadores electromagnéticos. Fuente: Investigador

Conmutadores electromagnéticos			
Parámetros Técnicos	JZC-11F	BOSH0535	SONGLE-12V
			
Voltaje de excitación	5V	24V	12V
Voltaje nominal	220VAC 24VDC	24V	125VAC 28VDC
Corriente nominal	5A	70A	10A
Temperatura de servicio	-40 a +85	-40 a +125	-25 a +70
Número de terminales	5	4	5
Soporte	no	no	no
Material de contacto	Aleación de plata	Oxido de plata-estaño	Oxido de cadmio-plata
Resistencia de contacto	100m	-	100m
Consumo	37,5mA	12,5mA	30mA

Una vez seleccionados cada uno de los componentes que dan vida al sistema de seguridad y control energético, se precisa el diseño de la red de sensores para garantizar el funcionamiento de los enlaces locales dentro de las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez.

4.4. Diseño de la red de sensores inalámbrica

La red de sensores inalámbrica esta expuesta al ruido electromagnético que generan dispositivos que irradian en la misma frecuencia que los transreceptores NRF24I01, además de la presencia de pisos y paredes de concreto lo cual atenúa considerablemente las señales disminuyendo la distancia efectiva de comunicación, por lo que es necesario realizar un análisis matemático para predecir el comportamiento de cada uno de los nodos a implementar tomando en cuenta parámetros de comunicación esenciales en la transmisión de datos. Los modelos matemáticos de propagación ofrecen una aproximación muy cercana a la realidad por lo que son considerados válidos, muchos de estos son modelos creados en laboratorio es decir son de naturaleza empírica y solo son válidos para cierto rango de frecuencias.

4.4.1. Análisis matemático

Luego del correspondiente análisis de los modelos de propagación empíricos en la sección del marco teórico, es necesario calcular ciertos parámetros esenciales en la comunicación de la red de sensores con el fin de determinar el comportamiento de la red. Uno de los parámetros a definir es la tasa efectiva promedio de éxito en la entrega de un mensaje en un determinado canal de comunicación denominado como throughput el cual por regla general es medido en (bps) y se calcula con la ecuación [24]:

$$Throughput = \frac{Carga [bytes]}{Retardo [ms]}$$

La carga esta determinada por el fabricante del dispositivo según se muestra en la figura 4.5, la trama es de longitud variable y se genera automáticamente, de donde se determina una carga total máxima de 49 bytes [21].



Figura 4.5: Trama ShockBurst™ mejorada del NRF24I01.

El retardo total en la transmisión dado en [ms] de los datos esta determinado por el ciclo del protocolo Shockburst, es decir el tiempo que demora una transmisión completa y esta dado por la siguiente ecuación según Nordic Semiconductor, fabricante de los módulos NRF24I01 [14].

$$T_{ESB} = T_{UL} + 2T_{stby2a} + T_{OA} + T_{ACK} + T_{IRQ}$$

Donde:

T_{ESB} =Tiempo del ciclo del protocolo ShockBurst mejorado.

T_{UL} =Tiempo de subida.

T_{stby2a} =Tiempo de reposo del dispositivo mientras espera el acuse de recibo.

T_{OA} =Tiempo en el aire.

T_{ACK} =Tiempo en el aire con ACK.

El tiempo de subida es calculado con la ecuación:

$$T_{UL} = \frac{\text{longitud} - \text{payload}}{\text{SPI} - \text{data} - \text{rate}} = \frac{8 [\text{bit/byte}] \cdot N [\text{bytes}]}{\text{SPI} - \text{data} - \text{rate} [\text{bit/s}]}$$

$$\text{SPI} - \text{data} - \text{rate} = \frac{f_{\text{cristal}}}{\text{preescaler}} = \frac{16 [\text{MHz}]}{2} = 8 [\text{Mbps}]$$

$$T_{UL} = \frac{8 [\text{bit/byte}] * 49 [\text{bytes}]}{8 \text{Mbps}} = 49 [\text{us}]$$

El tiempo de envío se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_{OA} = \frac{\text{longitud} - \text{payload}}{\text{data} - \text{rate} - \text{aire}} = \frac{8 [\text{bit/byte}], 49 [\text{bytes}]}{250 [\text{kbps}]} = 1,56 [\text{ms}]$$

El tiempo de retorno se calcula con:

$$T_{ACK} = \frac{\text{longitud} - \text{payload}}{\text{data} - \text{rate} - \text{aire}} = \frac{8 [\text{bit/byte}], 5 [\text{bytes}]}{250 [\text{kbps}]} = 160 [\text{us}]$$

El tiempo del IRQ esta dado en la tabla 4.9 según la velocidad de transmisión a la que se ha configurado el dispositivo.

Tabla 4.9: T(IRQ) en función de la velocidad de transmisión del NRF24l01 [20, 24].

VTX	T(IRQ)
2 Mbps	6 us
1 Mbps	8,2 us
250 Kbps	8,2 us

El tiempo de espera del dispositivo hasta obtener el acuse de recibo del paquete (T_{stby2a})

es dado por el fabricante y en promedio es 130 us. Con los tiempos calculados anteriormente se puede obtener el retardo total del protocolo Shockburst con lo que se obtiene el throughput teórico [21].

$$T_{ESB} = T_{UL} + 2T_{stby2a} + T_{OA} + T_{ACK} + T_{IRQ}$$

$$T_{ESB} = 49 [us] + 2(130 [us]) + 1560 [us] + 160 [us] + 8,2 [us] = 2037,2 [us]$$

$$throughput = \frac{L [bits]}{T_{ESB}} = \frac{49 [bytes] * 8 [bits/bytes]}{2037,2 [us]} = 192,42 [Kbps]$$

En cambio, para el cálculo práctico en el que se han enviado paquetes de datos de 20 bytes, que incluye el preámbulo (1 byte), la dirección (3 bytes), el paquete de control de campo (1,125 bytes), la carga en 3 paquetes de 4 bytes y el paquete de CRC en 2 bytes; se puede calcular el throughput real utilizando la misma fórmula que en el caso anterior pero modificando el valor del campo de datos [21, 28].

$$T_{UL} = \frac{8 [bit/byte] * 20 [bytes]}{8Mbps} = 20 [us]$$

$$T_{OA} = \frac{8 [bit/byte], 20 [bytes]}{250 [kbps]} = 640 [us]$$

$$T_{ESB} = 20 [us] + 2(130 [us]) + 640 [us] + 160 [us] + 8,2 [us] = 1088,2 [us]$$

$$throughput = \frac{20 [bytes] * 8 [bits/bytes]}{1088,2 [us]} = 73,515 [Kbps]$$

Las interferencias, el ruido y la distorsión que sufren las comunicaciones inalámbricas pueden producir errores de bits, llegando a la pérdida parcial o total de un paquete produciendo errores en las comunicaciones. El BER o tasa de error de bit es la relación entre el número de bits incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits transmitidos durante el intervalo de tiempo del protocolo. Para calcular la BER de la banda de 2,4 GHz, se utiliza la ecuación [21]:

$$BER = Q(\sqrt{2SNR}) = 1/2erfc(\sqrt{SNR})$$

la cual incluye la función erfc(x) (función de ingeniería utilizada para calcular la función de error complementaria integrada entre el límite inferior especificado e infinito). Para encontrar el BER primero se calcula la potencia de ruido para una temperatura ambiente

de 25°, un ancho de banda de 1MHz (para las velocidades de 250Kbps y 1Mbps) y un ruido artificial estimado de 6dB [21]:

$$N = KTB + 6dB$$

$$N = 1,3806 \times 10^{-23} [J/^{\circ}K] * (25^{\circ}C + 273)[^{\circ}K] * 1 \times 10^6 [Hz] + 6 [dB]$$

$$N = -143,85 [dB] + 6 [dB] == -107,8571 [dBm]$$

Luego de obtener la potencia de ruido con los parámetros mencionados anteriormente se obtiene la SNR utilizando el NRF24101 el cual a una velocidad de 250Kbps posee una sensibilidad de -94dBm:

$$SNR = \frac{P_{RX}}{N} = \frac{-94 [dBm]}{-107,8571 [dBm]} = 24,304$$

Luego de obtener la relación señal a ruido se puede obtener el BER utilizando la función error complementario $erfc(x)$ utilizada para el calculo de este parámetro en dispositivos que operan en la banda de 2,4 GHz.

$$BER = \frac{1}{2} erfc(\sqrt{SNR}) = 1,5631 \times 10^{-12}$$

Varios proyectos realizados con dispositivos de similares características demuestran que el retardo de los protocolos es mayor al obtenido teóricamente por lo que la tasa efectiva de transferencia de paquetes se ve afectada por parámetros externos (en Mayor proporción por la distancia). Para analizar el throuput teórico en varios escenarios se utilizan los modelos de propagación Log-normal, Multi-wall y Lee analizados con anterioridad los cuales son utilizados en el diseño de redes de sensores, en este caso se recurrirá a la utilización del modelo Multi-Wall puesto que a través del mismo se estudian las perdidas de comunicación debido a la acción de pisos y paredes [21].

El modelo multiwall se utiliza para estudiar entornos con varios obstáculos, paredes y suelos los cuales provocan atenuaciones de 4dB y 3dB respectivamente. El número de muros y paredes esta determinado por la ubicación geográfica de las lámparas pero se hace una media de 3 ya que los coordinadores no deben estar muy lejos y 0 pisos ya que el T_x y el R_x están bastante alejados del mismo. Las pérdidas de referencia están consideradas en 45dB como en el modelo anterior [15, 21, 28].

$$PL(d) = 45 [dB] + 20 \log(d) + 3 * 4 [dB] + 1 * 3 [dB]$$

$$PL(d) = 20\log(d) + 60 [dB]$$

Una vez determinadas las pérdidas en función de la distancia se analizará la tasa de bit erróneo (BER) y la tasa efectiva de transmisión (Troughput) en función de la misma variable con el fin de determinar el alcance máximo del dispositivo y el modelo del mismo apropiado para la red de sensores. En la tabla 4.10 se observan los 2 modelos existentes de los módulos NRF24l01 así como sus características de frecuencia ganancias y potencias irradiadas.

Tabla 4.10: Análisis de parámetros técnicos de propagación de los transreceptores NRF24l01 en sus diferentes modelos [21].

NRF24l01		
	PA + LNA	Antena Integrada
Potencia de Salida	0 dBm	0 dBm
Ganancia PA	20 dB	-
Ganancia LNA	10 dB	-
Figura de Ruido LNA	2,6 dB	-
Ganancia de la Antena	2 dBi	-
Sensibilidad a 250 Kbps	-104 dBm	-104 dB

Luego de analizar el modelo de propagación mencionado con anterioridad y la topología de la red de sensores mostrada en el esquema general, se necesita mostrar el comportamiento del BER y el Troughput mediante gráficos que faciliten la comprensión y definan el modelo de dispositivo a usarse en el sistema de seguridad y control energético para el GAD Parroquial de Benítez.

La figura 4.6 muestra el comportamiento de la tasa de bit erróneo para los transreceptores con antena integrada, donde se define una distancia máxima de 30 metros aproximados en el ambiente analizado lo que hace a este modelo de transreceptor ideal para la implementación del presente proyecto.

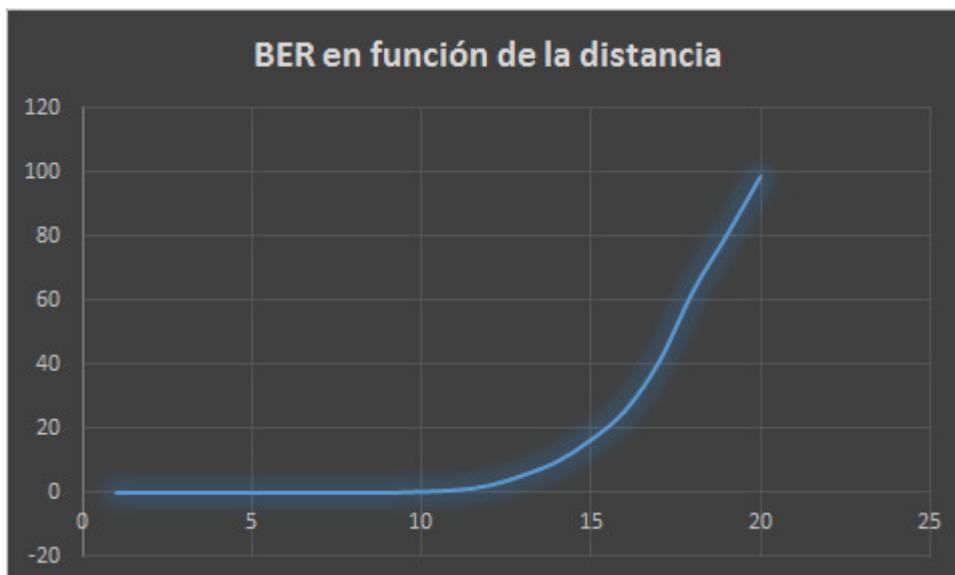


Figura 4.6: Comportamiento del BER en función de la distancia.
Fuente: Investigador.

Una vez analizadas las pérdidas por la acción de suelos y paredes a través del modelo Multi-Wall, se ha determinado que para obtener una comunicación fiable entre todos los nodos de la red de sensores, basta con utilizar los dispositivos NRF24101 de antena integrada que tienen una potencia de transmisión de 0 dBm y una sensibilidad de -94 dBm con una velocidad de transmisión establecida en 250 Kbps.

4.5. Diseño Electrónico del Sistema

En referencia a los dispositivos que componen el sistema de seguridad y control energético, la forma en que se conexionan y la interacción de componentes se encuentra diagramado en las figuras siguientes.

Nodo de ingreso de datos

Este Nodo sensor de la WSN cuya estructura se explica en sub-apartados anteriores permite al usuario la gestión del sistema de seguridad. Las conexiones entre componentes se muestran en la figura 4.7 donde se aprecia que la comunicación entre el controlador central y el transceptor está basado en el protocolo SPI. El algoritmo ligado al nodo se muestra en la figura 4.11

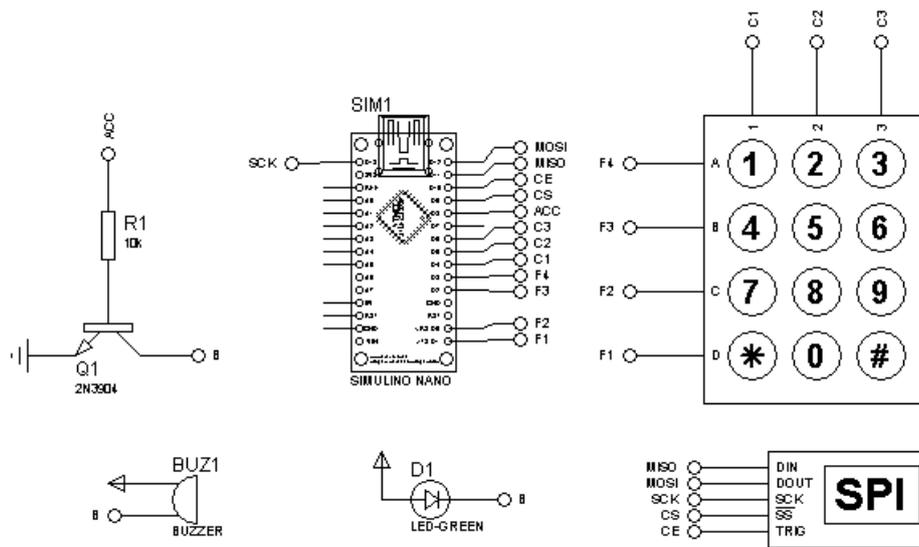


Figura 4.7: Diseño Electrónico del nodo de ingreso de datos.
Fuente: Investigador.

Nodo de notificación de alertas

Al igual que el nodo anterior se comunica mediante el protocolo SPI, además se utiliza el protocolo GSM para la notificación remota de alarmas. El conexionado electrónico se muestra en la figura 4.8 donde el controlador central es un arduino uno por la compatibilidad con la Shield GSM. El algoritmo ligado al nodo se muestra en la figura 4.14.

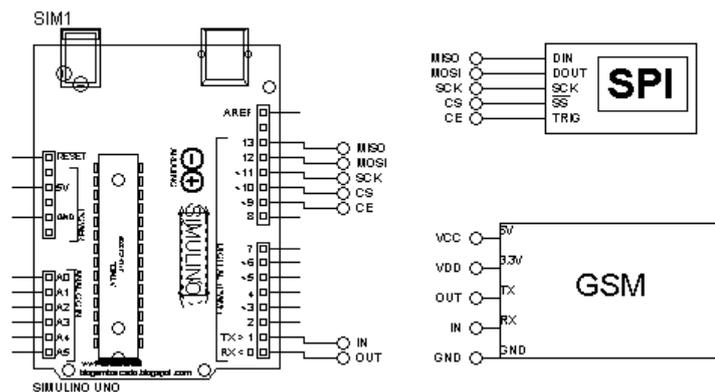


Figura 4.8: Diseño electrónico del nodo de generación de alertas via GSM.
Fuente: Investigador.

Nodo de control de iluminación

Este nodo proporciona las etapas de potencia para el control tanto manual como automático del sistema de iluminación artificial, el conexionado del controlador con las etapas mencionadas se detallan en la figura 4.9. El algoritmo ligado al nodo se muestra en la figura 4.12.

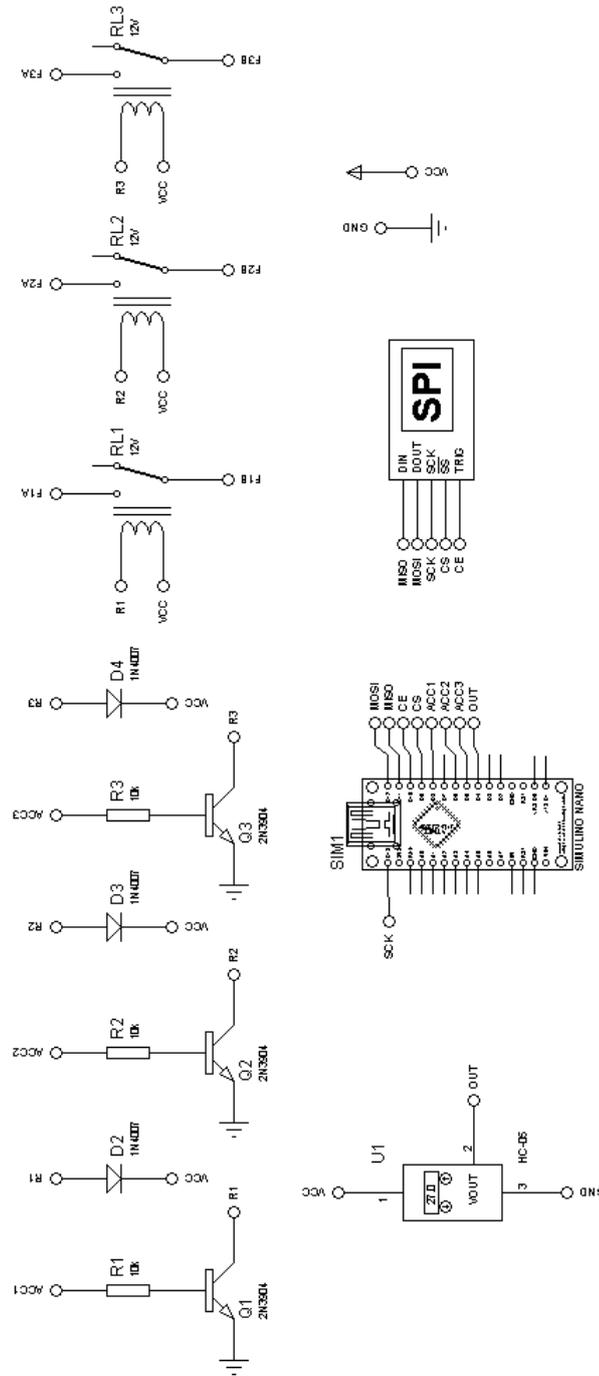


Figura 4.9: Diseño electrónico del nodo de control de iluminación.

Fuente: Investigador.

Nodo de generación de alertas

Proporciona la generación de las alertas auditivas, el conexionado electrónico se muestra en la figura 4.10, el algoritmo ligado al nodo se muestra en la figura 4.13.

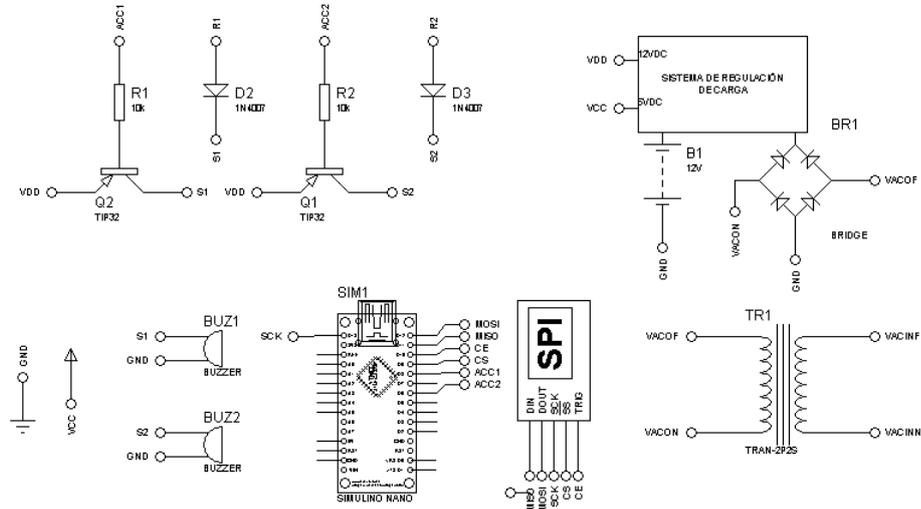


Figura 4.10: Diseño electrónico del nodo de generación de alertas.
Fuente: Investigador.

Todos los nodos expuestos anteriormente trabajan entre sí, transmitiendo información en la forma en que se detalla la figura 4.1.

4.6. Diseño de los Algoritmos de Control

En el mismo orden en que se detalló el diseño electrónico de los nodos sensores anteriormente, se detallan los algoritmos ligados a cada uno de los mismos respectivamente.

Nodo de ingreso de datos

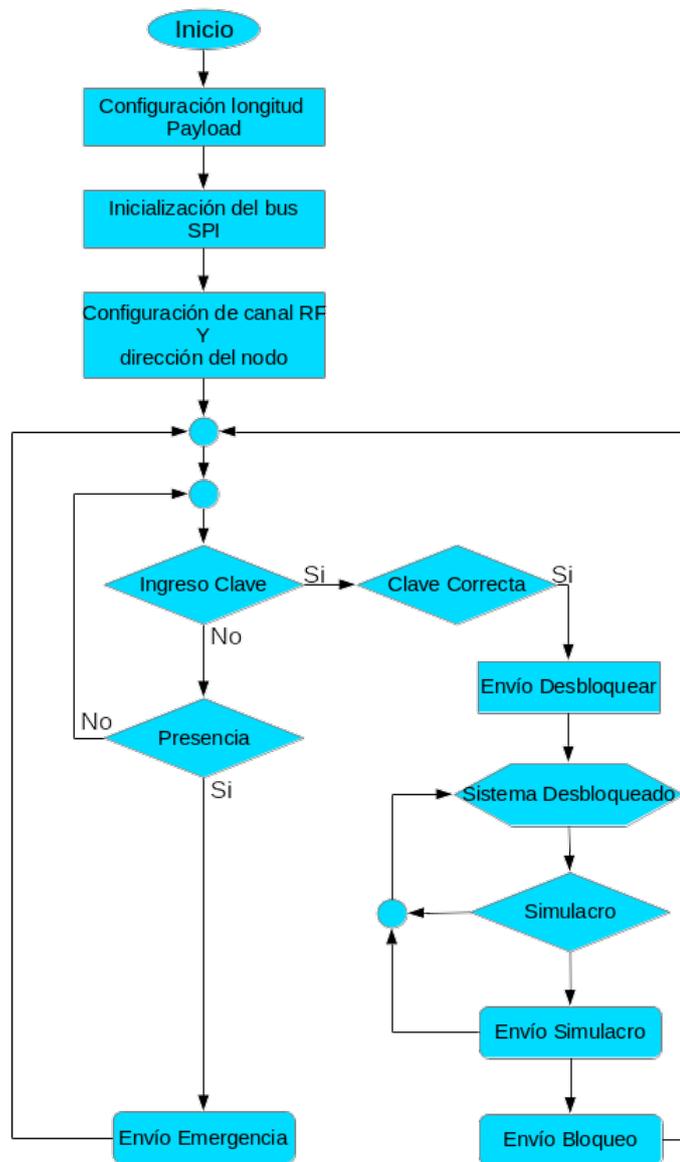


Figura 4.11: Algoritmo ligado al nodo de ingreso de datos.

En la figura anterior se muestra se detalla el algoritmo de control del nodo de ingreso de datos el cual proporciona el acceso a los usuarios hacia las instalaciones del GAD parroquial de Benítez con la autorización debida. donde se muestran las respuestas que este nodo tiene en función del ingreso de datos por teclado es.

- Desbloqueo: tecla D + contraseña
- Cambio de Contraseña: Tecla C previo Desbloqueo.
- Simulacro: B previo Desbloqueo

- Bloqueo: Tecla A.

Nodo de control de iluminación

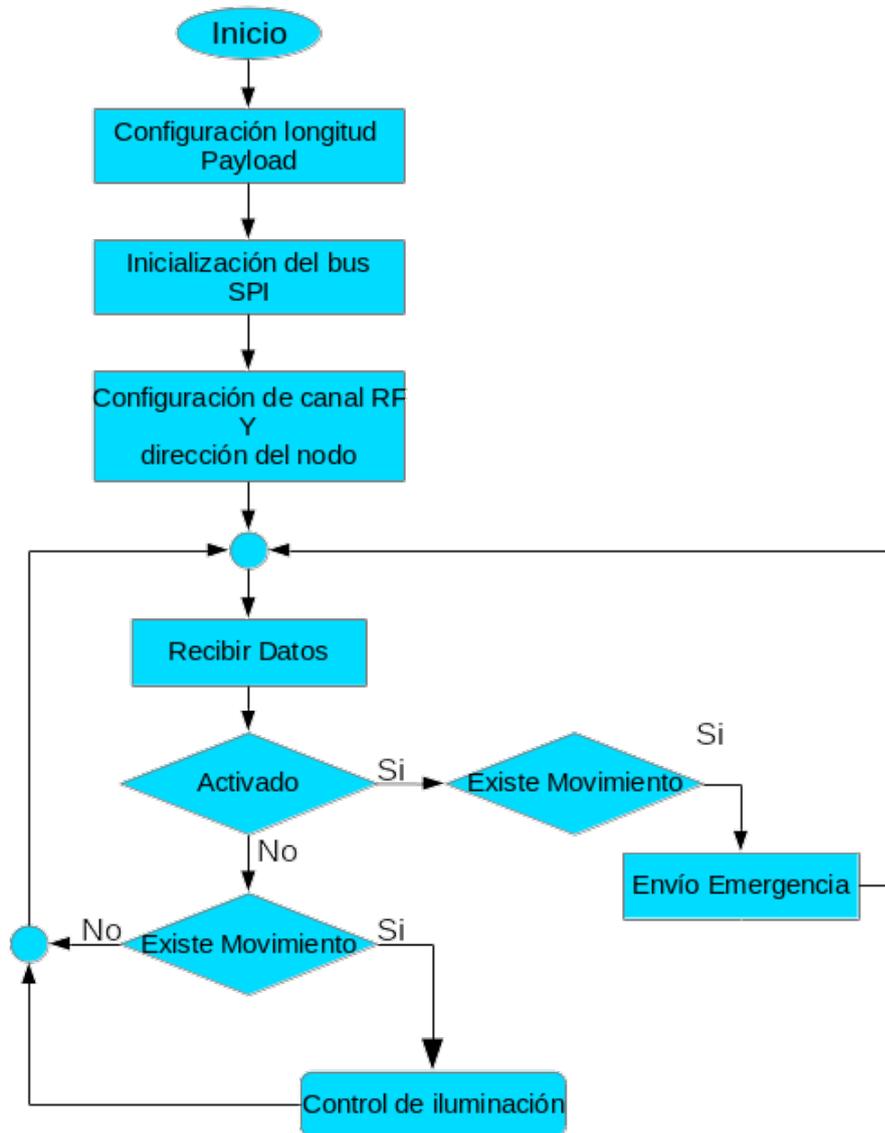


Figura 4.12: Algoritmo ligado al nodo de control del sistema de iluminación artificial.

Fuente: Investigador.

El algoritmo anterior detalla el funcionamiento del sistema de control de iluminación que a través del nodo de ingreso controla el sistema de iluminación o detecta presencia de individuos no autorizados.

Nodo de generación de alertas

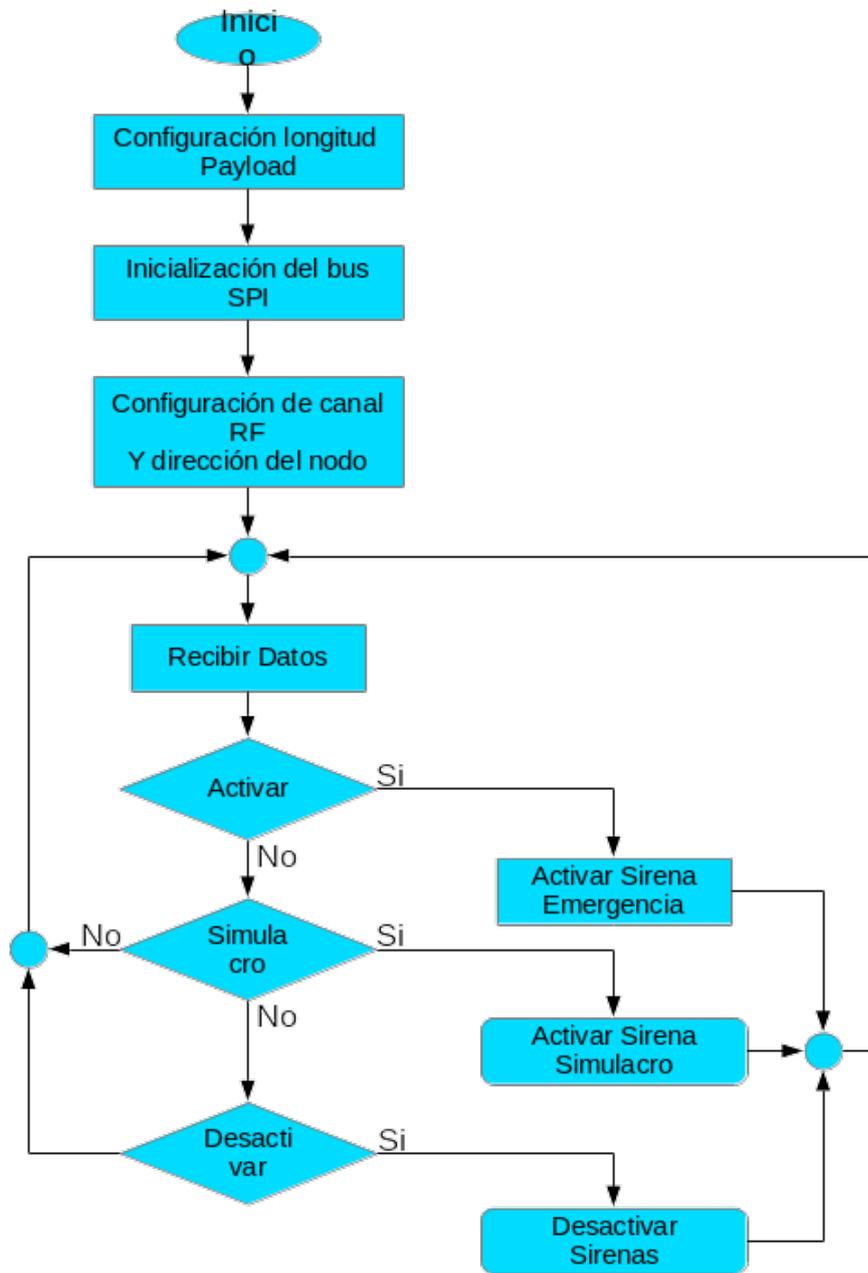


Figura 4.13: Algoritmo ligado al nodo de generación de alertas.

Fuente: Investigador.

Recibe los diversos informes de los diferentes nodos de detección e ingreso y genera alertas de pánico, simulacro, y avisos de bloqueos y desbloqueos del sistema.

Nodo de notificación de alertas

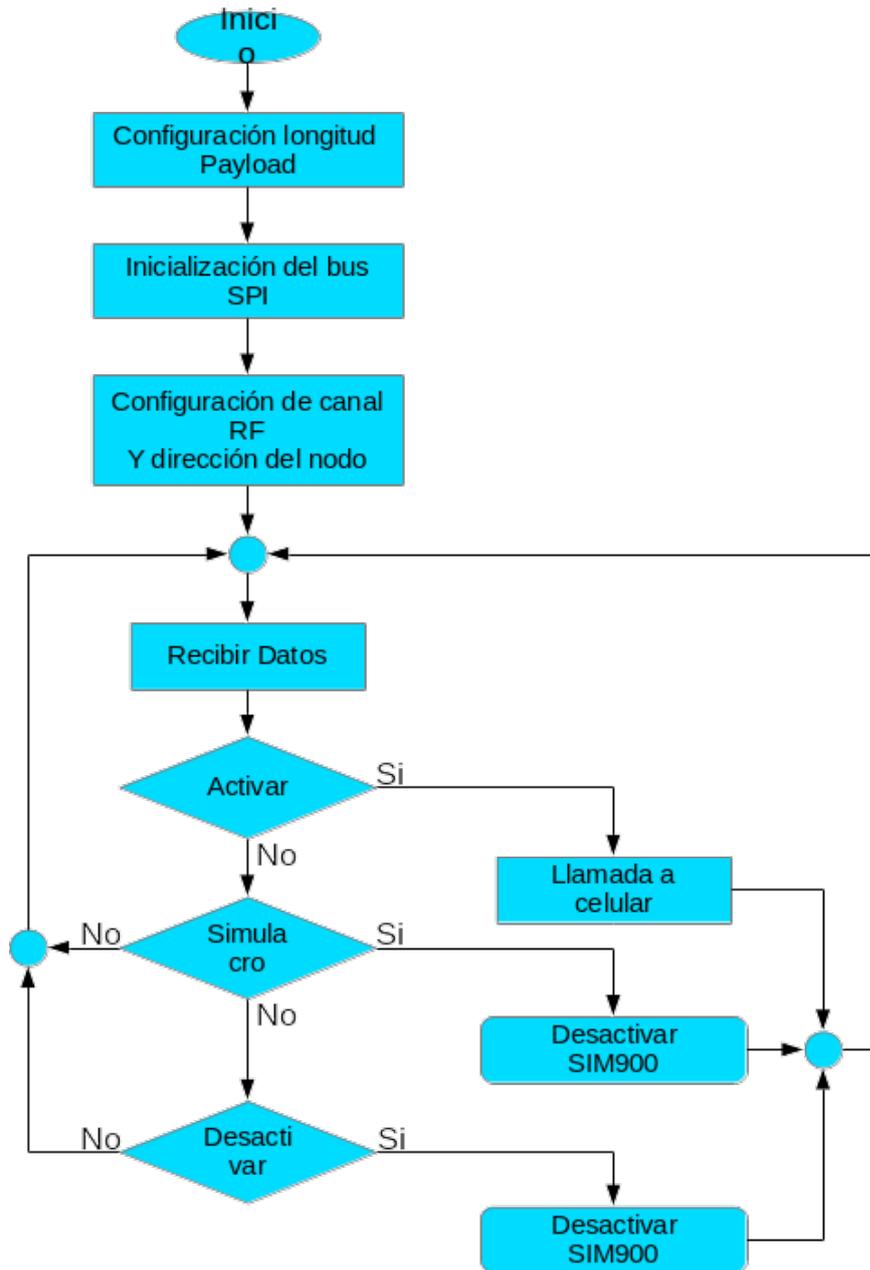


Figura 4.14: Algoritmo ligado al nodo de notificación de alertas.

Fuente: Investigador.

Cuando en el nodo de notificación de alertas se recibe una de pánico, este procede a realizar una llamada a uno de los usuarios registrados informando el acceso no autorizado al GAD como se muestra en el diagrama anterior.

4.7. Esquema final del sistema de seguridad y control energético para el GAD parroquial de Benítez

La figura muestra de forma detallada cada uno de los componentes y dispositivos que forman los nodos sensores del proyecto realizado, el mismo que fue implementado en las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez.

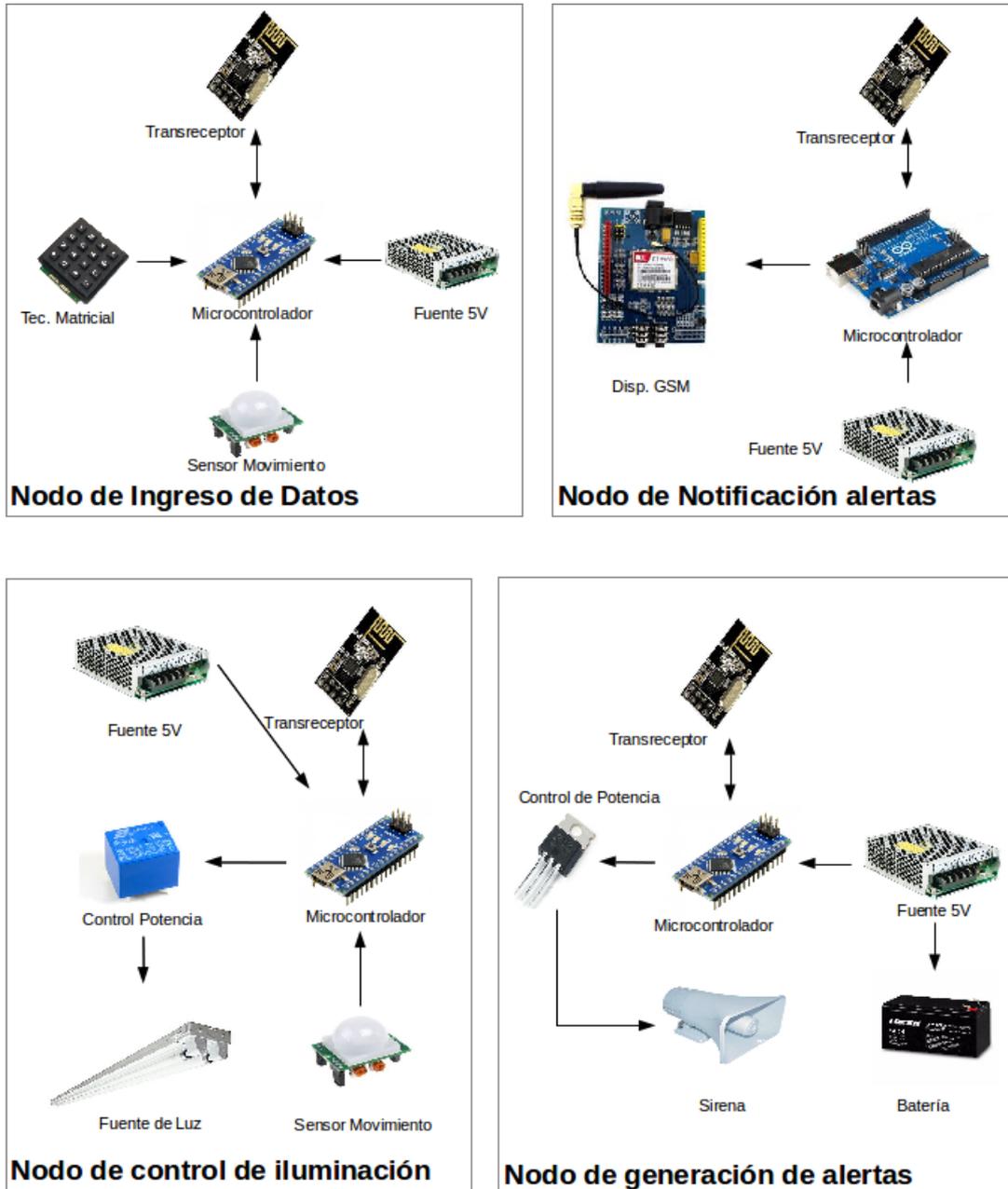


Figura 4.15: Esquema final del sistema de seguridad y control energético para el GAD parroquial de Benítez.

Fuente: El Investigador

4.8. Ahorro de Energía del GAD con el Sistema Propuesto

4.8.1. Consumo de Energía

El consumo de energía está determinado por la potencia de las lámparas y las horas que permanecen encendidas dentro de las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez, teniendo en cuenta la potencia instalada, y la potencia individual de las mismas. La mayoría de instituciones utiliza tubos fluorescentes en el sistema de iluminación artificial por tal motivo se analizará el consumo energético de estas, para lo cual se siguieron los siguientes pasos.

Número de lámparas

El número de lámparas que se van a controlar mediante el sistema propuesto son las 20 ubicadas en el GAD ver anexo E las cuales tienen una potencia individual de 38 Watts .

Cálculo de la potencia instalada

La carga útil instalada está determinada por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{NL * P}{1000} [KW] \quad (8.1)$$

Donde:

Q = Potencia instalada en [KW] .

N L = Número de luminarias del sector [adimensional] .

P = Potencia de las lámparas con balastro en [W] .

$$Q = \frac{20 * 38}{1000} [KW] = 0,76 [KW]$$

Cálculo del consumo total de energía

El consumo total de energía está determinado por la siguiente ecuación:

$$C = Q * Nd * hd \quad (8.2)$$

Donde:

C = Consumo mensual en [KW / h] .

Q = Carga instalada = 0,304 [KW] (obtenida mediante ecuación 4.1).

Nd = Número de días del mes = 30 en promedio por mes.

hd = Horas efectivas por día = 8 en promedio.

A través de los valores obtenidos, se calcula el consumo energético mensual mediante la ecuación 4.2. Obteniendo:

$$C = 0,76 * 30 * 8 [KW/h] = 182,4 [KW/h]$$

Cálculo del costo mensual de la energía consumida

Luego de obtener el consumo energético mensual, se calcula el costo mensual en dólares americanos multiplicando el consumo energético obtenido por el costo de energía según el Agencia de Control y regulación de la Electricidad ARCONEL la cual establece el precio del KWh en 9,33ctvs, con lo que se obtiene:

$$\text{Costo}[USD] = C * CKWh \quad (8.3)$$

$$\text{Costo}[USD] = 182,4[KW/h]*0,0933[USD] = 17,01[USD]$$

Se obtiene un costo de \$17,01 para el conjunto de 20 tubos fluorescentes de 38 Watts mencionadas con anterioridad suponiendo que el sistema esta en óptimo estado. Mientras que si el sistema propuesto controla la iluminación se obtiene 3 horas efectivas de encendido por lo que se obtiene un consumo mensual de:

$$\text{Costo}[USD] = \frac{3 * 17,01}{8} = 6,37[USD]$$

Con lo que se tiene un ahorro mensual de \$10,64 por el grupo de 8 tubos de 38 Watts.

4.9. Costos del Sistema

Con el fin de determinar la factibilidad del proyecto es necesario el análisis de costos para determinar la inversión del GAD en el Sistema de Seguridad y Control Energético.

Tabla 4.11: Detalle de costos de materiales utilizados en el sistema de seguridad y control energético, hecho por el investigador.

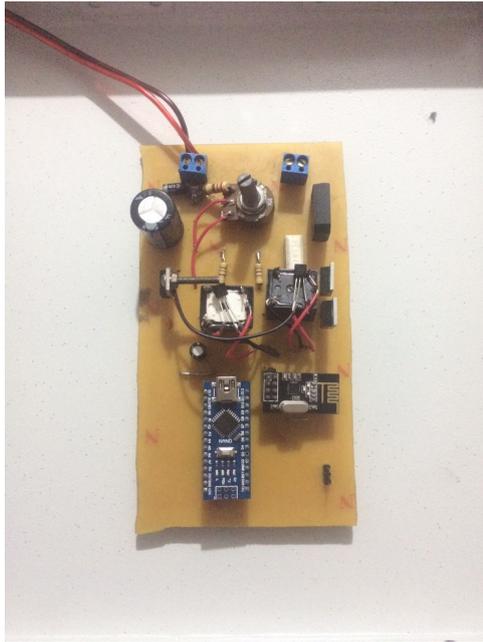
Cantidad	Dispositivo	Costo Unitario	Costo Total
3	NRF24101	\$5	\$15
1	Nrf24101 PA LNA	\$15	\$15
3	Arduino Nano	\$8	\$24
1	Arduino Uno	\$15	\$15
1	Shield GSM	\$38	\$38
1	Batería Seca	\$18	\$18
1	Sirena 2 tonos	\$15	\$15
1	Sensor PIR	\$4,50	\$4,50
1	Sensor SHARP	\$3	\$3
1	Teclado Matricial	\$5	\$5
3	Transistores TIP32C	\$0,50	\$1,50
2	Reguladores LM7809	\$0,50	\$1
1	Transformador 120/12 VAC	\$3,50	\$3,50

1	Rectificador 4A	\$1	\$1
10	Capacitores	\$0,25	\$2,50
20	Resistencias	\$0,05	\$1
6	Borneras	\$0,15	\$0,90
3	Reles	\$0,50	\$1,50
6	transistores 2n3904	\$0,15	\$0,90
3	Fuentes 5V	\$3	\$9
3	Caja plástica	\$2,50	\$7,50
1	Caja metálica	\$30	\$30
1	Baquelita	\$4,50	\$4,50
Total			\$217,30

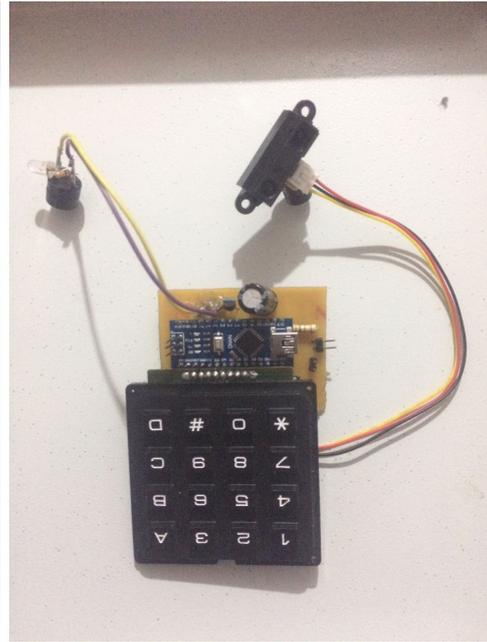
El sistema tendrá un costo de \$217,30 lo que hace que el proyecto sea factible para su implementación.

4.10. Pruebas de Funcionamiento

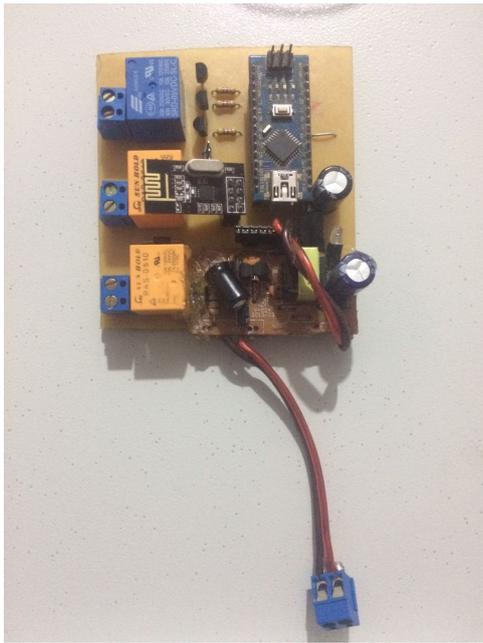
Una vez implementado el sistema de seguridad y control energético en las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez, se proceden a las pruebas de funcionamiento de cada uno de los nodos simulando diferentes situaciones de pánico tanto desde dentro de las instalaciones de la institución como del exterior. en las figura 4.18 se muestra el funcionamiento del sistema, puesto que ante una situación de pánico se genera una llamada al usuario registrado informando del evento.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.16: PCB Sistema de seguridad y control energético. a) Nodo de Notificación. b) Nodo de Ingreso de Datos. c) Nodo de Control de Iluminación. d) Nodo de Notificación de Alertas

Fuente: Investigador.

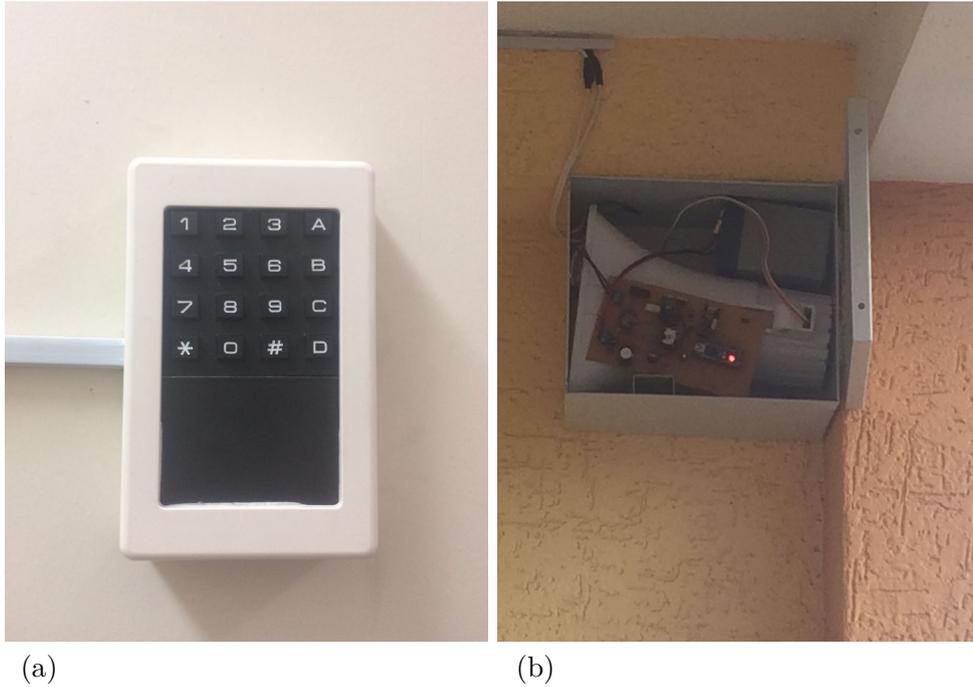


Figura 4.17: Sistema de seguridad y control energético instalado en el GAD. a) Nodo de Ingreso de Datos. b) Nodo de Notificación.
Fuente: Investigador.

El control efectuado por los sensores de movimiento en el sistema de iluminación, permite la interacción tanto en forma manual como automática, esto ayuda en el caso de que los usuarios requieran que las luces estén encendidas en forma permanente.

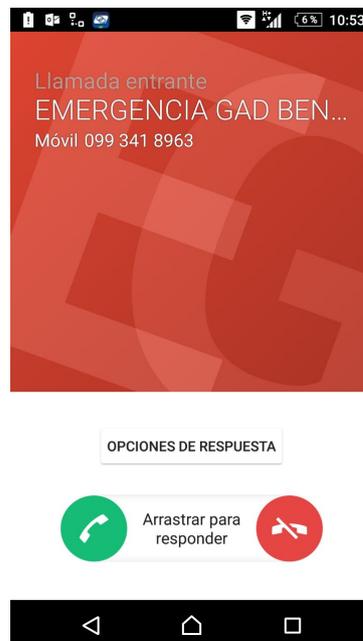


Figura 4.18: Teléfono recibiendo una llamada de emergencia del sistema de seguridad y control energético.
Fuente: Investigador.

Ademas se hizo pruebas con cortes de energía, dando como resultado una alerta audible, puesto que ciertos métodos utilizados por la delincuencia consisten en dejar sin energía a los edificios de las instituciones para poder ingresar y hurtar los bienes de las instituciones.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El edificio del GAD Parroquial de Benítez, ha sido victima de varios robos de equipos y equipo mobiliario según testimonios de los empleados por lo que se realizó un análisis y se determinó la importancia de contar con un sistema de seguridad que informe tanto a la ciudadanía como a los empleados del GAD la presencia de individuos no autorizados sobre todo en horas nocturnas, así mismo se hizo necesaria la implementación de un sistema que permita la gestión energética del sistema de iluminación artificial ya que se determino que este se encuentra activado innecesariamente en horas del día.
- Las instalaciones del GAD Parroquial de Benítez consta de un edificio de dos plantas donde existen paredes y pisos los cuales producen una atenuación considerable, esto fue analizado matemáticamente mediante el modelo Multi-Wall con lo que se determino el alcance máximo de los dispositivos NRF24101 y por ende el modelo de dispositivo que se utilizo como es el caso de 3 dispositivos con antena integrada que transmiten a 0 dBm y un dispositivo de antena externa que transmiten a 0dBm con una ganancia de PA y LNA de 8 dB con lo que se aseguró la comunicación de la red de sensores.
- El protocolo Shockburst es un protocolo privativo de la empresa NORDIC SEMICONDUCTOR que permite la formación de redes de sensores inalámbricas de bajo costo con respecto a tecnologías destinadas a este propósito como Zigbee y Bluetooth, en el presente proyecto su utilización genero un sistema de seguridad y control energético de bajo costo y muy robusto además su adaptabilidad a plataformas de software libre, la abundante documentación existente sobre el manejo de estos dispositivos, librerías y el soporte del fabricante lo hacen ideal para aplicaciones de WSN con topologías pseudomesh utilizada en este proyecto.
- Para el sistema de alertas se utilizo una sirena de emergencia la cual informa a la ciudadanía de la parroquia de Benítez la presencia de individuos no autorizados en

el GAD, además de esto se instaló un canal de comunicación GSM la cual genera una llamada de emergencia a uno de los usuarios registrados por lo que se mantiene informado al mismo en cualquier parte donde exista cobertura celular.

5.2. RECOMENDACIONES

- En sistemas involucrados con comunicaciones inalámbricas se debe realizar un análisis de propagación de señales exhaustivo a fin de determinar el tipo de dispositivos así como su potencia, sensibilidad y ganancias con el objetivo de garantizar la comunicación y evitar errores en la misma.
- El ruido presente en los circuitos electrónicos pueden generar falsos valores en la lectura de los sensores por lo que se recomienda el uso de filtros formados por resistencias y capacitores para tener una respuesta mas estable y lineal de los sensores.
- El acoplamiento entre dispositivos electrónicos y el controlador central debe ser ideal a fin de evitar daños en los mismos por lo que se recomienda el uso de plataformas compatibles tanto a nivel de hardware como de software.
- Evitar la manipulación directa de ciertos dispositivos basados en tecnología CMOS ya que estos pueden sufrir daños parciales y totales lo que acarrea un incremento en los costos y en el tiempo de implementación del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Dávila, "Eficiencia Energética en Edificios," Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ecuador, 2015.
- [2] Comunidad de Madrid, "La domótica en los edificios públicos", 2016. [Online]. Disponible: <http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/>
- [3] Zhang, T. Chang, H. Cui, X. Tian and Z. Wang, "Multi-agent System Design for Energy Saving in Intelligent Building," 2015 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), Hangzhou, 2015, pp. 297-300.
- [4] Š. Kozák, A. Pytel and P. Drahoš, "Application of hybrid predictive control for intelligent buildings," Process Control (PC), 2015 20th International Conference on, Strbske Pleso, 2015, pp. 203-208.
- [5] N. K. Suryadevara, S. C. Mukhopadhyay, S. D. T. Kelly and S. P. S. Gill, "WSN-Based Smart Sensors and Actuator for Power Management in Intelligent Buildings," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 20, no. 2, pp. 564-571, April 2015.
- [6] A. Pandharipande, D. Caicedo and X. Wang, "Sensor-Driven Wireless Lighting Control: System Solutions and Services for Intelligent Buildings," in IEEE Sensors Journal, vol. 14, no. 12, pp. 4207-4215, Dec. 2014.
- [7] G. Wang, "Wireless remote control technology in intelligent buildings system," World Automation Congress (WAC), 2012, Puerto Vallarta, Mexico, 2012, pp. 231-233.
- [8] J. Ninacuri y N. Sánchez, "Estudio del control domótico de seguridad, confort y eficiencia energética para las instalaciones del edificio de la escuela de ingeniería de mantenimiento mediante el uso de microcontroladores," Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (SPOCH), 2013, Riobamba.
- [9] R. Román, "Diseño de un sistema domótico para el control de iluminación y monitoreo del consumo de energía eléctrica," Universidad Industrial de Santander, 2011, Bucaramanga.

- [10] L. Velarde, "Diseño de un sistema automatizado de seguridad contra intrusión en un edificio de departamentos utilizando el estándar de tecnología inalámbrica Zigbee," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010, Lima.
- [11] National Instruments, Redes de Sensores Inalámbricos y Aplicaciones, Artículo de Página Web, 2009 (04). Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/#toc1>
- [12] J. García, "Desarrollo y estudio de redes 802.15.4 usando dispositivos Micaz," Universidad Politécnica de Cartagena, 2008, Cartagena.
- [13] Instituto Tecnológico de Informática, "Domótica". Actualidad TIC. N.p., 2004. Web. 7 Oct. 2016.
- [14] Wirelesssensorn, Redes de Sensores Inalámbricas, Artículo de página web, 2012 (07). Disponible en: <http://wirelesssensorn.blogspot.com/>
- [15] No Wire, Punto-Multipunto ISP, Artículo de página web, 2014 (05). Disponible en: <http://www.nowire.cl/soluciones/internet-y-telefonía/>
- [16] A. Toma, La Revolución del alumbrado público, *CELEC EP, Guayaquil, 2012 (12)*.
- [17] T. Ramadhan, "Eficiencia y ahorro energético", Rescompass.org, 2009. [Online]. Available: <http://www.rescompass.org/espanol,25/energias-renovables,26/de-eficiencia-energetica-gestion,558.html>.
- [18] Ecured, "Hardware libre", Ecured.cu, 2016. [Online]. Available: https://www.ecured.cu/Hardware_libre.
- [19] A. García y K. Navarro, "3/4¿Qué es Arduino y para qué se utiliza?", Pa- nama Hitek, 2016. [Online]. Available: <http://panamahitek.com/ques-es-arduino-y-para-que-se-utiliza/>.
- [20] Electronilab, "Módulo Transceptor RF nRF24L01+ 2.4 Ghz con Antena SMA - Electronilab", Electronilab.co, 2016. [Online]. Available: <http://electronilab.co/tienda/modulo-transceptor-rf-nrf24l01-2-4-ghz-con-antena-sma/>. [Accessed: 31- Oct- 2016].
- [21] Nordic of Semiconductor, NRF24l01 v1.0", "Preliminary sparkfun, Product 2008. Specification [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/>
- [22] Digitalguide, "Dinámicas", "Servidor 1&1 LAMP, Digitalguide, la solución 2017. Available: <https://www.1and1.es/digitalguide/servidores/know-how/servidor-lamp-la-solucion-para-webs-dinamicas/>.

- [23] D. Chaparro, LAMP: Linux, Apache, MySQL y PHP/Perl, 1st ed. Creative Commons Attribution- ShareAlike, 2006, pp. 1-5.
- [24] D. Dólera, "Rendimiento de los protocolos IEEE 802.15.4 en entornos ruidosos", Universidad Politécnica de Catalunya, 2010.
- [25] Ecured, "Hardware libre", Ecured.cu, 2016. [Online]. Available: https://www.ecured.cu/Hardware_libre.
- [26] F. Núñez, Sistema de Monitoreo y Control del Alumbrado Público mediante una Red de Sensores RF. Ambato, 2017, pp. 22-90.
- [27] G. Emiliano, "GSM y GPRS, Conceptos Generales", Universocelular.com, 2017. [Online]. Available: <http://universocelular.com/2007/12/07/gsm-y-gprs-conceptos-generales/>. [Accessed: 19- Sep- 2017].
- [28] D. Ivan, "Tutoriales Shields Arduino", Prometec, 2017. [Online]. Available: <https://www.prometec.net//#>. [Accessed: 19- Sep- 2017].

ANEXOS

Anexo A

Algoritmo Programado en nodo de ingreso de datos

```
#include <Keypad.h>
#include <RF24Network.h>
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>

RF24 radio(9,10);
RF24Network network(radio);
const uint16_t nodo_teclado = 00;
const uint16_t nodo_iluminacion = 03;
const uint16_t nodo_sirena = 01;
struct payload_t { unsigned long orden; };

const int bz=A4;
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char hexaKeys[ROWS][COLS] =
{ {'1','2','3','A'}, {'4','5','6','B'}, {'7','8','9','C'}, {'*','0','#','D'} };
char clave[5] = {'1', '2', '3', '4', '5'};
byte rowPins[ROWS] = {3, 2, 0, 1};
byte colPins[COLS] = {7, 6, 5, 4};
byte x=0, enable=0, y=0, z=0;

bool ok=false, cambio = false; //initialize an instance of class
NewKeypad Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins,
colPins, ROWS, COLS);

void setup(){
pinMode(bz, OUTPUT);
pinMode(A3, INPUT);
```

```

SPI.begin(); radio.begin();
network.begin(/*channel*/ 90, /*node address*/ nodo_teclado);
}

void loop(){
if(analogRead(A3)>200 && ok == false)
enviar_trama(3, nodo_sirena);
char customKey = customKeypad.getKey();
network.update();
if (customKey) { //////////////// Ingreso Clave////////////////
if(customKey == 'D' && enable == 0) {
enable=1; x=0; y=0;
ok=false; buzzer(2, 2);
enviar_trama(3, nodo_sirena);
} else if(customKey == 'C' && ok == true) {
buzzer(0.9, 1); delay(10000);
enviar_trama(1, nodo_sirena);
enviar_trama(1, nodo_iluminacion);
ok=false; enable=0; }
//////////////////////// Cambio Clave////////////////
else if(customKey == 'A' && enable == 0) {
enable=1;
cambio=true; x=0; y=0; ok=false;
buzzer(2, 2);
} if(enable == 1 && ok == false)
if(customKey == clave[x-1])
y++;
if(enable==1) {
x++; buzzer(0.9, 1);
} if(x>=6 && enable==1) {
if(y>=5) {
enable=0; buzzer(2,4);
ok=true;
enviar_trama(2, nodo_iluminacion);
enviar_trama(2, nodo_sirena);
}else if(y<5) {
enable=0; buzzer(20,1);
ok=false;
enviar_trama(3, nodo_sirena);
} }
while(ok == true && cambio == true) {

```

```
char tec = customKeypad.getKey();
if(tec) {
  buzzer(0.9, 1);
  clave[z]=tec; z++;
  if(z==5) {
    z=0; cambio=false;
    ok=false; buzzer(0.8, 10); } } } }
```

```
void buzzer(float t, byte n) {
  for(int i=0; i<n; i++) {
    digitalWrite(bz, HIGH); delay(t*100);
    digitalWrite(bz, LOW); delay(t*100); }
}
```

```
void enviar_trama(unsigned long evento, uint16_t ID) {
  payload_t payload = {
    evento };
  RF24NetworkHeader header( /*to node*/ ID);
  bool ok = network.write(header,&payload,sizeof(payload)); }
```

Anexo B

Algoritmo Programado en nodo de control de iluminación

```
#include <RF24Network.h>
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>

RF24 radio(9, 10); // nRF24L01(+)
RF24Network network(radio);

const uint16_t nodo_iluminacion = 02;
const uint16_t nodo_teclado = 00;
const uint16_t nodo_sirena = 01;
struct payload_t { // Structure of our payload unsigned long evento; };
struct payload_s { // Structure of our payload unsigned long evento; };
const int rl1=1; const int rl2=3; const int rl3=4;
const int sens=8; bool funcion = false;

void setup() {
  SPI.begin();
  radio.begin();
  network.begin(/*channel*/ 90, /*node address*/ nodo_iluminacion);
  pinMode(rl1, OUTPUT);
  pinMode(rl2, OUTPUT);
  pinMode(rl3, OUTPUT);
  pinMode(sens, INPUT);
  delay(20);
  digitalWrite(rl1, LOW);
  digitalWrite(rl2, LOW);
  digitalWrite(rl3, LOW); }

void loop() {
```

```

network.update();
while ( network.available() ) {
RF24NetworkHeader header;
payload_t payload;
network.read(header,&payload,sizeof(payload));
if(payload.evento == 1)
funcion = true;
else if (payload.evento == 2)
funcion = false; }
if(digitalRead(sens) && funcion == false) {
digitalWrite(r11, HIGH);
digitalWrite(r12, HIGH);
digitalWrite(r13, HIGH);
}else {
digitalWrite(r11, LOW);
digitalWrite(r12, LOW);
digitalWrite(r13, LOW); }
if(digitalRead(sens) && funcion == true) {
enviar_trama(3, nodo_sirena);
enviar_trama(3, nodo_gsm);
digitalWrite(r11, LOW);
digitalWrite(r12, LOW);
digitalWrite(r13, LOW); }
}

void enviar_trama(unsigned long orden, const uint16_t ID) {
payload_s trama = {orden};
RF24NetworkHeader header2(nodo_sirena);
bool ok= network.write(header2, &trama, sizeof(trama)); }

```

Anexo C

Algoritmo Programado en nodo de generación de alertas

```
#include <RF24Network.h>
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>

RF24 radio(9,10);
RF24Network network(radio);

const uint16_t key_benitez = 00;
const uint16_t bz_benitez = 01;
struct payload_t { // Structure of our payload unsigned long evento; };
const int emerg = 5; const int simul = 6;
unsigned long x=0;
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 1000;
int tiempo =250;

void setup(void) {
  Serial.begin(57600);
  Serial.println("RF24Network/examples/helloworld_rx/");
  SPI.begin();
  radio.begin();
  network.begin(/*channel*/ 90, /*node address*/ bz_benitez);
  pinMode(emerg, OUTPUT);
  pinMode(simul, OUTPUT);
  digitalWrite(emerg, LOW); digitalWrite(simul, LOW); }

void loop(void){
  network.update();
  while ( network.available() ) {
```

```
RF24NetworkHeader header;
payload_t payload;
network.read(header,&payload,sizeof(payload));
x=payload.evento; }
if(x == 1)
x=activado_desactivado(2);
else if(x==2)
x=activado_desactivado(4);
else if(x==3) {
digitalWrite(emerg, HIGH);
digitalWrite(simul, LOW);
} else if(x==4) {
digitalWrite(emerg, LOW);
digitalWrite(simul, HIGH);
} else if(x==0) {
digitalWrite(emerg, LOW);
digitalWrite(simul, LOW); } }
```

```
unsigned long activado_desactivado(int n) {
digitalWrite(emerg, LOW);
for(int i=0; i<n;i++) {
digitalWrite(simul, HIGH);
delay(tiempo);
digitalWrite(simul, LOW);
delay(tiempo); }
return(0); }
```

Anexo D

Algoritmo Programado en nodo de notificación de alertas

```
#include <RF24Network.h>
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>
#include <SoftwareSerial.h>;

SoftwareSerial SIM900(7, 8);
RF24 radio(7,8);
RF24Network network(radio);

const uint16_t this_node = 01;
const uint16_t other_node = 00;
const unsigned long interval = 2000;
unsigned long last_sent;
unsigned long packets_sent;
struct payload_t { // Structure of our payload unsigned long ms; unsigned long counter;
};
char incoming_char=0;
int salir = 0;

void setup(void) {
  Serial.begin(57600);
  Serial.println("RF24Network/examples/helloworld_tx/");
  SPI.begin();
  radio.begin();
  network.begin(/*channel*/ 90, /*node address*/ this_node);
  SIM900.begin(19200);
  delay(25000);
  Serial.println("OK"); }
```

```
void llamar() { Serial.println("llamando.....");
SIM900.println("ATD 0958817994;");
delay(100);
SIM900.println();
delay(30000);
SIM900.println("ATH");
delay(1000); }
```

```
void mensaje_sms() {
SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
delay(100);
SIM900.println("AT+CMGS=\"33XXXXXXXXXX\");
delay(100); SIM900.println("Saludos desde HetPro");
delay(100); SIM900.println((char)26);
delay(100); SIM900.println(); delay(5000);
Serial.println("SMS sent successfully"); }
```

```
void espera_mensaje() {
salir = 1;
while(salir==1) {
if(SIM900.available(>0) {
incoming_char=SIM900.read();
Serial.print(incoming_char);
salir = 0; } } }
void modo_recibe_mensaje() { SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
delay(100); SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
delay(1000); }
```

```
void loop() {
network.update(); llamar(); }
```

