



**INFOTEC CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y
COMUNICACIÓN**

**DIRECCIÓN ADJUNTA DE INNOVACIÓN Y CONOCIMIENTO
GERENCIA DE CAPITAL HUMANO
POSGRADOS**

**“ANÁLISIS Y CONTROL DE LUMINARIAS
PARA SMARTCITIES VÍA REDES”**

**PROPUESTA DE INTERVENCIÓN
Que para obtener el grado de MAESTRO EN SISTEMAS EMBEBIDOS**

Presenta:
Juan Carlos Durón Lara

Asesor:
Mtro. Iraam Antonio López

Ciudad de Aguascalientes, 23 de Marzo de 2021.



Autorización de impresión



AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN Y NO ADEUDO EN BIBLIOTECA **MAESTRÍA EN SISTEMAS EMBEBIDOS**

Ciudad de México, 16 de junio de 2021
INFOTEC-DAIC-GCH-SE-193/2021.

La Gerencia de Capital Humano / Gerencia de Investigación hacen constar que el trabajo de titulación intitulado

ANÁLISIS Y CONTROL DE LUMINARIAS PARA SMARTCITIES VÍA REDES

Desarrollado por el alumno **Juan Carlos Durón Lara** y bajo la asesoría del **Mtro. Iraam Antonio López**; cumple con el formato de biblioteca. Por lo cual, se expide la presente autorización para impresión del proyecto terminal al que se ha hecho mención.

Asimismo se hace constar que no debe material de la biblioteca de INFOTEC.

Vo. Bo.

Lic. Juan Ramón Abarca Damián
Coordinador de Biblioteca

Anexar a la presente autorización al inicio de la versión impresa del trabajo referido que ampara la misma.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a mis profesores quienes con su conocimiento y constantes tutorías hicieron de esta meta una realidad la cual me encuentro a punto de cumplir.

A mi asesor el cual ha aportado su conocimiento para lograr que este documento cumpla con las expectativas planteadas desde la formulación de este proyecto como una idea.

Este documento va dedicado a las personas más importantes de mi vida, quienes sin su apoyo nada de esto habría sido posible.

Agradezco profundamente a mi madre, quien aportó aliento, fuerza y apoyo en los momentos más extenuantes de este proceso. Además de haberme otorgado el don de la duda, la educación necesaria y la posibilidad de una carrera universitaria además con esto un posgrado.

Agradezco a mi familia y sus constante palabras de soporte y apoyo incondicional en todo este proceso de 2 años y medio quienes en los momentos más difíciles me apoyaron con su confianza y buenos consejos.

Hasta donde quiera que esté, agradezco a mi padre que en paz descansa, quien con su ejemplo y dedicación me mostró lo importante que es el saber y el aplicarlo para el beneficio y bienestar de las personas que nos rodean. Nada de esto habría sido posible sin tu presencia y la imagen que dejaste como legado, ante las adversidades y las pruebas más difíciles siempre estuviste presente, y de alguna manera aún sigues estándolo en lo más profundo de mi ser. Siempre como mi ejemplo a seguir. A ti que ya no estás, te agradezco por todo y por lo que aún falta y no me he dado cuenta.

Quiero agradecer a una persona muy especial para mí, quien ha brindado un enorme apoyo en momentos difíciles y también en los mejores momentos. Gracias Gabriela por fungir como inspiración, motivación y soporte a todo este ciclo. Esto es el inicio de una nueva etapa y agradezco por tu presencia y tus aportes que hasta el día de hoy han sido pieza clave y piedra angular de muchas ideas y metas que he planteado en mi vida. Te lo agradezco desde lo más profundo de mi corazón.

Por último quiero agradecer a mis amigos quienes sus constantes alientos, críticas constructivas y amistad incondicional han hecho de este proceso uno más llevadero, quienes han aportado ideas que son invaluable en la concepción de este proyecto, sin mencionar el gran aporte que hacen día tras día a la persona que soy. Les agradezco por su presencia y los mejores momentos que he tenido en mi vida, a ustedes que son uno de los pilares de mi vida. Gracias.

Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Contexto	3
1.1 Problemática	3
1.2 Motivación	6
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Estructura del documento	6
Capítulo 2. Estado del Arte	9
2.1 Antecedentes en infraestructura de iluminación.	9
2.2 Luminarias	10
2.2.1 Luminarias de Vapor de Sodio a Alta Presión.	10
2.2.2 Luminarias LED.	11
2.3 Dispositivos existentes.	12
2.4 Redes de Comunicación	16
2.4.1 Redes GSM.	16
2.4.2 Redes SigFox.	16
2.4.3 Redes LoRa WAN.	17
2.4.4 Redes WiFi.	17
2.4.5 Redes BLE.	17
2.4.5 Redes ZigBee.	18
2.5 Resultado.	18
Capítulo 3. Desarrollo del Dispositivo	20
3.3 Metodología de Desarrollo	20
3.4 Especificación	21
3.4.1 Requerimientos funcionales.	21
3.4.2 Requerimientos no funcionales.	23
3.4.3 Reporte de Requerimientos	23
3.5 Funcionamiento.	28
3.6 Tarjetas de Desarrollo.	28
3.6.1 Arduino MKR WAN 1300 (LoRa Connectivity).	29
3.6.2 The Things Uno.	29
3.6.3 LoRa Technology Kit - 900.	30
3.6.4 B-L072Z-LRWAN1.	30
3.6.5 LoPy4.	31
3.6.6 Heltec LoRa v2.	31
3.6.7 Tarjeta de desarrollo seleccionada	32
3.7 Sensor de efecto hall	32
3.8 Fuente de voltaje	33
3.9 Relevador	34
3.10 Base de Datos.	36

3.10.1 Mongo DB	37
3.10.2 MySQL	37
3.10.3 Arduino IoT cloud.....	38
3.10.4 Google Firebase	38
3.10.5 Base de Datos seleccionada.....	38
3.11 Arquitectura	39
3.12 Desarrollo	40
3.12.1 Esquemático.....	40
3.12.2 Tarjeta Electrónica	46
3.13 Código	49
Capítulo 4. Pruebas y Resultados.	52
4.1 Prueba de Código.....	52
4.2 Prueba de Desarrollo.....	54
4.3 Prueba de Funcionamiento.....	55
4.3.1 Sensor ACS712	55
4.3.2 Módulo de Relevador.....	57
4.3.3 Fuente de alimentación.	58
4.3.4 Tarjeta Ensamblada.....	59
4.4 Prueba de Especificaciones.....	64
4.4.1 Requerimientos de Usuario.	64
4.4.2 Requerimientos Funcionales.....	65
4.4.3 Requerimientos No Funcionales.	66
Capítulo 5. Impacto Social y Económico	68
5.1 Impacto Social	68
5.2 Impacto Económico.....	68
Conclusiones	71
Bibliografía	72
Anexos	76
Anexo I.....	76
Anexo II.....	77
Anexo III.....	77
Anexo IV	78
Anexo V	78
Anexo VI	82

Índice de figuras

Figura 1 Socket NEMA FRE-220.....	13
Figura 2 Arquitectura del sistema InteliLIGHT WiSun.	14
Figura 3 Arquitectura del sistema InteliLIGHT LonWorks PLC.....	14
Figura 4 Arquitectura del sistema InteliLIGHT Lora WAN.	15
Figura 5 Arquitectura del sistema InteliLIGHT NB-IoT.	15
Figura 6 Metodología de desarrollo en V.	20
Figura 7 Tarjeta Arduino MKR WAN 1300.	29
Figura 8 Tarjeta de desarrollo The Things Uno.	29
Figura 9 Kit de Microchip para comunicación LoRa.	30
Figura 10 Tarjeta de desarrollo STM32.....	30
Figura 11 Tarjeta LoPy4.....	31
Figura 12 Tarjeta Heltec LoRa.	31
Figura 13 Filtrado de fuentes de poder.	34
Figura 14 Opciones de compra de fuente de alimentación.	34
Figura 15 Filtro de búsqueda para relevador.	35
Figura 16 Resultados del filtrado.....	36
Figura 17 Logo MongoDB	37
Figura 18 Logo MySQL	37
Figura 19 Arduino IoT Cloud	38
Figura 20 Logo de Google Firebase.....	38
Figura 21 Arquitectura de Sistema.	39
Figura 22 Conector Terminal Block MC002077.....	40
Figura 23 Conexión ACS712 según hoja de datos.....	41
Figura 24 Conexión de sensor ACS712 en esquemático.....	41
Figura 25 Conector de fuente de voltaje AC/DC en esquemático.	42
Figura 26 Conector de Relevador y etapa de potencia en esquemático.	43
Figura 27 Conector de tarjeta de desarrollo Heltec LoRa en esquemático.	45
Figura 28 Pinout tarjeta Heltec LoRa v2.....	46
Figura 29 Capas de PCB a manufacturar	46
Figura 30 Vista del archivo Gerber generado en el software Eagle.	47
Figura 31 Software FlatCAM para generar código G.	47
Figura 32 PCB manufacturada dentro de la fresadora CNC.	48
Figura 33 Resultado de la manufactura en CNC.....	48
Figura 34 Diagrama de Flujo del Código.....	50
Figura 35 Puerto serial de prueba para inicialización de variables y bibliotecas. .	52
Figura 36 Base de datos con código de prueba de configuración de bibliotecas. .	52
Figura 37 Puerto Serial de la Tarjeta para la prueba del aviso.....	53
Figura 38 Warning positivo para la prueba de exceso de corriente.....	53
Figura 39 Modificación en base de datos para activación del relevador.	53
Figura 40 Activación del relevador tras modificación en base de datos.	53
Figura 41 Corriente en estado apagado.....	54
Figura 42 Tarjeta PCB.....	54
Figura 43 Tarjeta Breakout de sensor ACS712.....	55
Figura 44 Modulo ACS712 conectado con el foco encendido.....	56
Figura 45 Módulo ACS712 conectado con el foco apagado.	56
Figura 46 Corriente leída por la tarjeta ACS712.....	56

Figura 47 Modulo relevador activado.	57
Figura 48 Modulo de Relevador desactivado.	57
Figura 49 Resultados de conectar el módulo del Relevador.	58
Figura 50 Prueba de fuente de alimentación.	58
Figura 51 Tarjeta ensamblada conectada.	59
Figura 52 Información del puerto serie.	60
Figura 53 Tarjeta con luminaria encendida.	60
Figura 54 Tarjeta con luminaria apagada.	61
Figura 55 Datos de la base de datos.	61
Figura 56 Datos del puerto serie.	62
Figura 57 Aplicación de lectura de corriente.	63
Figura 58 Código de bloques MIT app inventor.	64

Índice de gráficos

Gráfico 1 Luminarias en México.....	10
-------------------------------------	----

Índice de cuadros

Cuadro 1 Luminarias existentes en México.....	10
Cuadro 2 Requerimiento de Usuario 1.....	24
Cuadro 3 Requerimiento de Usuario 2.....	24
Cuadro 4 Requerimiento de Usuario 3.....	24
Cuadro 5 Requerimiento Funcional 1.....	25
Cuadro 6 Requerimiento Funcional 2.....	25
Cuadro 7 Requerimiento Funcional 3.....	25
Cuadro 8 Requerimiento Funcional 4.....	26
Cuadro 9 Requerimiento Funcional 5.....	26
Cuadro 10 Requerimiento No Funcional 1.....	26
Cuadro 11 Requerimiento No Funcional 2.....	27
Cuadro 12 Requerimiento No Funcional 3.....	27
Cuadro 13 Requerimiento No Funcional 4.....	27
Cuadro 14 Requerimiento No Funcional 5.....	28
Cuadro 15 Requerimiento No Funcional 6.....	28
Cuadro 16 Costos.....	65

Introducción

Este documento describe el desarrollo de un dispositivo encargado de monitorear y hacer un control simple de las luminarias que existen en la infraestructura del país. Dicho dispositivo cuenta con conexión inalámbrica y además una fuente de energía que le permite trabajar aunque la red eléctrica se encuentre dañada, el dispositivo es de bajo costo y permite leer el estado de una luminaria sin importar el estado en que esta se encuentre, así como el consumo que tiene al estar encendida y funcionando de manera correcta o incorrecta.

El procedimiento de desarrollo mostrado en este documento se basa en una simple metodología de desarrollo llamada “En V” la cual permite al proyecto ser terminado en un tiempo bajo, sin embargo depende mucho de la experiencia del arquitecto de software y de hardware. Dado que este primer desarrollo es un prototipo existen puntos que aún faltan por cubrirse como el administrar datos de manera independiente por un periodo de tiempo, así como las pruebas en campo las cuales no han podido ser realizadas.

Al final del documento se habla de los costos que implicó el desarrollo y del trabajo a futuro el cual incluye mejoras tanto de software como de hardware así como de pruebas que se planea realizar.



Capítulo 1

Contexto



Capítulo 1. Contexto

Desde el primer uso de las redes inalámbricas en 1888 de la mano del físico alemán Rudolf Hertz estas han cambiado el cómo la humanidad se comunica y envía información, abarcando áreas desde los servicios personales como la radio o la televisión, hasta comunicaciones militares.

Al llegar la era de la cuarta revolución industrial y nombrándose temas como el internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) o la industria 4.0, las redes inalámbricas se volvieron un elemento primordial en los procesos de fabricación de los artículos usados en el día a día, además de realizar un cambio total en la manera en que los humanos interactúan los unos con los otros y en los servicios que este recibe, ya sea transporte, comida e incluso entretenimiento visual en la nube.

Este documento se ubica en el territorio nacional mexicano, en las zonas donde la inseguridad ha sido acrecentada a causa de la infraestructura dañada o el malfuncionamiento de esta. Uno de los principales factores causantes de esta inseguridad es la falta de iluminación en las calles, causada por desperfectos tanto en las luminarias, como en la red eléctrica de la zona [1] y se plantea la idea de una solución por medio de redes inalámbricas las cuales pueden ayudar a mejorar la situación.

1.1 Problemática

Internacionalmente, uno de los temas de mayor importancia para los gobiernos de cualquier país es la seguridad y el cómo eliminar cualquier amenaza que pueda decrementarla. Dentro del territorio nacional zonas de peligro son generadas debido a cientos de factores que favorecen la ejecución de actividades ilícitas representando así un problema social enorme.

Según el Dr. Antonio Manuel Hurtado González en su tesis doctoral [1] existe una relación cercana entre el funcionamiento correcto, la intensidad adecuada de las luminarias en vía pública y el qué tan seguras se sienten las personas dentro de estas zonas. Dando como resultado que las personas se sienten más seguras en lugares donde la iluminación es alta y se cuenta con tonalidades blancas LED o Amarillo proveniente del vapor sódico. Por ende se puede entender que en las

zonas donde la iluminación es de menor intensidad o inexistente las personas se sienten menos seguras a causa de la imposibilidad de notar detalles de las personas que transitan por la zona, desde su rostro hasta objetos que portan. Es de esta manera que las personas dispuestas a cometer actividades ilícitas se sienten en mayor capacidad para realizarlas reduciendo la posibilidad de ser evitados, reconocidos o capturados por elementos de la policía.

Teniendo ya la base de como sucede esta problemática y las situaciones que esta puede causar se decidió dar solución por medio de un sistema que se encargue de dar lectura al comportamiento de la luminaria así como del suministro eléctrico que llega a esta y que se encargue de dar aviso a una base central la cual se encargue del protocolo a seguir según sea el caso. Para ello es necesario conseguir un alto alcance de envío de información, así como una tasa de envío de datos que satisfaga las necesidades.

Con el paso de los días las mejoras continuas a los protocolos de comunicación, así como a las redes, el procesamiento y bajo consumo energético han dado a lugar a lo que personas como Oratile Khutsoane y Bassey Isong llaman el futuro del internet [2]. Este paradigma da a casi cualquier objeto la posibilidad de conectarse a la red e interactuar con sus similares, objetos que incluyen desde vehículos y transporte público hasta plantas e incluso dispositivos para animales, lo cual conllevó a crear múltiples áreas de investigación para englobar todas las posibles capacidades que este nuevo concepto nos permite. Áreas como Smart Homes [3], Smart Cities[4], Smart Transportation [5], Smart Environment , Smart Grid[6] e incluso Smart Farming[7] son algunas de las beneficiadas con las bondades que el IoT puede generar, más para la realización de este documento se ahondará en el tema de las Smart Cities dado a que es el área de impacto del proyecto desarrollado, sin embargo invitamos al lector a abundar en el tema de las variadas áreas de investigación del IoT.

Las ciudades inteligentes, o Smart Cities, es un término relativamente nuevo acuñado para nombrar a las ciudades que se encuentran dentro de los avances del IoT y cuya información acerca de su estado es transmitida haciendo cobertura de los objetos utilizados día a día en ellas, como lo son luminarias públicas, semáforos

inteligentes [8], detectores de presencia, termómetros de zona, etc. Esta conexión ha tomado fuerza gracias a los más recientes protocolos de transmisión de datos basados en la norma IEEE 802.15.4.

Justo como menciona Davide Magrin y su equipo de trabajo en su documento Performance evaluation of LoRa networks in a smart city scenario [9] estos protocolos han sido diseñados para tener una mayor cobertura de distancia con la limitante de sacrificar la cantidad de información que pueden enviar. Sin embargo, esto es un punto que no afecta a los dispositivos incluidos en las ciudades inteligentes dado a que estas tramas de información son escasas cadenas de datos que suceden durante lapsos bastante amplios. Esta área de investigación dentro del IoT ha sido acrecentada debido a la bondad de los servicios que brinda además de los avances tecnológicos a protocolos que han apoyado la conexión inalámbrica a largas distancias, como LoRa[2].

Avances como los mencionados anteriormente han creado posibilidades dentro de nuestro día a día. Con ello han surgido nuevas ideas para solucionar problemáticas existentes y brindar mejores servicios a los habitantes por ejemplo en el área de salud[10]. Uno de estos problemas es que en las urbes la falta de iluminación en alguna calle, andador o avenida representa un problema social grave debido a que estos puntos pueden generar focos de inseguridad, además de problemas de tráfico o accidentes automovilísticos[11]. Tras un tiempo de análisis se llegó a la conclusión que una solución parcial o total a este problema sería ser la implementación de un monitor de consumo de luminarias, el cual dé aviso certero a los servicios públicos para su pronta reparación y restauración. Tiempo atrás se planeó dar solución al problema, sin embargo, los métodos de comunicación eran ineficaces en la tarea de enviar la información a larga distancia o su uso representaba costes elevados como es el caso del 3G, sin embargo con la mejora de las antenas de WiFi y la aparición de LoRa y LoRa WAN este obstáculo de los costes resulta más que superado.[12]

1.2 Motivación

Con la situación de inseguridad actual del país en la que las actividades criminales van en aumento se ha creado un estado de miedo continuo en la población. Esta investigación nace con la motivación de crear un dispositivo encargado de monitorear y controlar las luminarias que se encuentran en la infraestructura de la zona de Aguascalientes con la intención de ofrecer una posible solución parcial a la problemática y de este modo aumentar el estado de seguridad en la población.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Crear un dispositivo el cual sea capaz de medir la intensidad de corriente que fluye a través de una luminaria y a partir de esto detectar fallos, problemas o posibles defectos futuros que pueda presentar la lámpara.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Objetivo Específico 1. Dar lectura a la corriente que fluye a través de una luminaria.
- Objetivo Específico 2. Lograr identificar por medio de la información leída cuando una luminaria se encuentra dañada y cuando presenta una falla.
- Objetivo Específico 3. Desarrollo y ensamblaje de un prototipo funcional del sistema.
- Objetivo específico 4. Lograr identificar señales de la luminaria dependiendo del estado de ésta.

1.4 Estructura del documento

- Capítulo 1. – Contexto: En este capítulo se muestran los objetivos, así como la motivación para la realización de esta investigación.
- Capítulo 2. – Estado del Arte: En este capítulo se habla acerca de situaciones similares existentes en otras regiones, el efecto que se tuvo en el crimen, los dispositivos ya disponibles en el mercado y las diferencias más importantes entre estos y el prototipo realizado.

- Capítulo 3. – Desarrollo: En este capítulo se tratarán los temas que envuelve el desarrollo del dispositivo, desde la metodología del desarrollo del proyecto hasta la selección de elementos adecuados, necesarios y el diseño de la tarjeta electrónica
- Capítulo 4. - Pruebas y resultados: En este capítulo se presentan las pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo creado en el capítulo del desarrollo.
- Capítulo 5. – Impacto social y económico: En este capítulo se realiza el análisis del impacto que el producto puede llegar a causar en la sociedad, así como los costos del equipo y los ahorros que este puede llegar a generar.
- Capítulo 6. – Conclusiones: En este capítulo se muestran las conclusiones obtenidas durante todo el proceso de desarrollo.
- Referencias
- Anexos



Capítulo 2

Estado del Arte

Capítulo 2. Estado del Arte

El tema de la inseguridad en cualquier región del mundo resulta ser un punto bastante delicado puesto a que éste está envuelto por una cantidad enorme de factores tanto sociales como económicos e incluso geográficos, y es la variante en la combinación de estos factores lo que impide que ésta pueda llegar a ser medida de una manera óptima para así lograr analizar si las acciones tomadas realmente tienen un impacto positivo [13] y de ser logrado un cambio en la situación de un lugar puede que el método no funcione de la misma manera en otra zona del mismo país y resulta menos probable que lo haga en otro país, dado que no todas las zonas comparten las mismas problemáticas o los mismos factores que dan cabida a las actividades criminales.

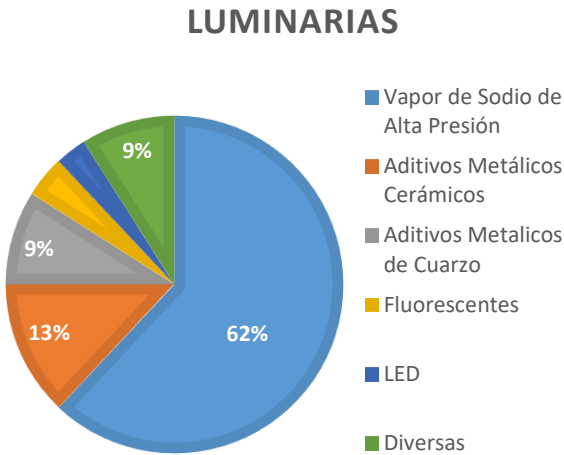
Uno de los factores que pueden llegar a mejorar o a empeorar la situación de seguridad es la infraestructura puesto que existe la creencia que al dar una apariencia de mayor limpieza, con mejor iluminación y con la existencia de elementos de uso público los habitantes de la zona sienten una mayor seguridad, además que al contar con una mejor iluminación posibles riesgos pueden ser divisados a mayor distancia permitiendo a la persona en cuestión la elusión de estos. Caso contrario, al existir una baja o nula iluminación y pocos elementos de uso público las personas argumentan tener una sensación continua de incomodidad, además de inseguridad. Para fortalecer este punto se han desarrollado investigaciones previas en las cuales por medio de encuestas a la población se determina su posición al respecto, previa y posterior a una inversión infraestructural en materia de iluminación [1], [14]–[16], dichas investigaciones realizan una comparación de cantidad de crímenes antes y después del cambio lumínico arrojando una reducción de los crímenes cometidos en la misma zona, demostrando que, al menos en estos lugares, los cambios en materia de iluminación han sido positivos y han dado a lugar a la mejora de la seguridad local.

2.1 Antecedentes en infraestructura de iluminación.

El comprender la situación de las luminarias instaladas actualmente en el país resulta imprescindible, este contexto se encuentra incluido en el documento del departamento Comisión Nacional del Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)[17].

Según este documento, se estima que existen cerca de 10 millones de dispositivos de iluminación en el territorio nacional, estas luminarias recaen dentro de diferentes grupos. Para fines del proyecto, resulta necesario indicar que tipo de tecnología utilizan en su mayoría las luminarias para así poder categorizarlas. La Cuadro 2 muestra el porcentaje de luces dependiendo de la tecnología que utilizan para su funcionamiento:

Funcionamiento	Porcentaje
Vapor de Sodio de Alta Presión	62%
Aditivos Metálicos Cerámicos	13%
Aditivos Metálicos de Cuarzo	9%
Fluorescentes	4%
LED	3%
Diversas	9%



Cuadro 1 Luminarias existentes en México.
Fuente: SENER, ALUMBRADO PÚBLICO, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA CIUDAD INTELIGENTE.

Gráfico 1 Luminarias en México.
Fuente: Elaboración propia.

2.2 Luminarias

De acuerdo a la información obtenida puede observarse que las lámparas de vapor de sodio a alta presión son las más presentes en el país al día de hoy. Sin embargo últimamente la tendencia de la iluminación mundial se inclina por renovar la mayor parte de las luminarias a tecnología LED.

2.2.1 Luminarias de Vapor de Sodio a Alta Presión.

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión son de las más comunes en la actualidad debido a que tienen una alta eficiencia lumen/Watt, además de su largo periodo de vida útil. Esto resulta perfecto para situarlas en el alumbrado público.

Las partes de la lámpara de sodio son las descritas a continuación [18]:

- Tubo de descarga: Es un tubo de óxido de aluminio sinterizado, traslúcido y con un pequeño contenido de óxido de magnesio que reduce el tamaño del cristal de aluminio sellado con extremos de niobio o aluminio que actúan como conductor y relleno con sodio, xenón y vapor de mercurio.
- Ampolla Exterior: Es el vidrio que rodea al tubo de descarga. Este vidrio se encuentra relleno de un gas inerte o en su defecto al vacío para así eliminar las pérdidas de calor que podrían ser causadas por la convección. Su forma varía del modelo que se adquiera.
- Casquillo: Es el encargado de transmitir la energía eléctrica entre la fuente y el tubo de descarga. El tipo de casquillo puede variar dependiendo del modelo de luminaria.

El funcionamiento de la lámpara se basa en la excitación de los electrones en las orbitas de los gases dentro del tubo de descarga, este es el encargado de emitir la luz al ser alimentado con corriente eléctrica. En el interior del tubo se generan choques entre los electrones libres que representa la corriente eléctrica contra los átomos del gas, estos choques causan que los electrones en las orbitas del gas sean excitados pasando a orbitas de mayor energía. Al volver a su órbita original, este movimiento produce la emisión de fotones. Cabe mencionar que para lograr esto la lámpara debe alcanzar una temperatura de trabajo constante, la cual puede llegar a ser de temperaturas de 1000°C en el interior del tubo de descarga.

Estos equipos necesitan una tensión alta al arranque debido a la necesidad de calentar los gases interiores del tubo de descarga, para ello se hace uso de un balastro y un arrancador el cual puede estar incorporado o ser externo.

Debido a la tecnología que manejan estas luminarias, la luz que emite tiende a ser en mayor parte en la sección amarilla del espectro electromagnético, variando acorde al proceso de manufactura y del modelo.

2.2.2 Luminarias LED.

Las luminarias LED, a pesar de ser las luminarias con menor cantidad instaladas en las calles, resultan ser un producto novedoso el cual día tras día gana mercado, dada su enorme eficiencia energética [19], su fiabilidad y vida funcional, además que estas generan una sensación de mayor comodidad y aumentan la seguridad

que sienten los transeúntes al circular por zonas iluminadas con estas luminarias[20][1].

2.3 Dispositivos existentes.

Actualmente el mundo ha ido adaptándose a la idea de interconectar los elementos que actúan en nuestro día a día para, de este modo, hacer su uso más sencillo y sacarles el mayor provecho a todos los dispositivos, así como a la información que estos pueden llegar a producir [2].

El caso de las luminarias públicas no es la excepción a esta afirmación, debido a que estas son usadas por todas las personas que habitan en una ciudad. Estas, sin importar del tipo de tecnología que utilizan, se encuentran conectadas a la red eléctrica de la ciudad, representando una carga y consumiendo energía eléctrica, ésta energía eléctrica puede ser medida para generar la información suficiente para ser analizadas y prevenir o actuar de acorde a la situación que pueda darse con cada lampara, múltiples investigaciones se han realizado de acuerdo a distintos tipos de organización de las luminarias, así como de los distintos protocolos de comunicación que mejor se adecuan a las necesidades de este tipo de sistemas, de ellas podemos destacar protocolos como LoRa WAN, WiFi, SigFox y GSM [19], [21]–[24].

Empresas como inteliLIGHT, MONNIT y OSIRIS han enfocado sus esfuerzos en realizar la interconexión de las luminarias públicas en una ciudad, entregando interesantes propuestas o módulos tangibles. Sin embargo la empresa con mayor experiencia trabajando en esta rama resulta ser inteliLIGHT y es por ello que el estado del arte se enfoca en los dispositivos que esta ofrece.

Actualmente existen productos que se encuentran trabajando dentro de condiciones de nivel industrial dando diferentes soluciones al monitoreo y control de las luminarias, un ejemplo de esto es el de la empresa inteliLIGHT situada en Brasov, Romania. Esta empresa desarrolla sus productos con una alta capacidad de interconexión, permitiendo protocolos como el WiFi, NB-IoT, Lora WAN, SigFox, entre otros. Esta empresa tiene aproximadamente 13 años de experiencia en el servicio de la iluminación inteligente. Una demostración de esto es su producto,

inteliLIGHT FRE-220 como se puede observar en la Figura 1, el cual es capaz de comunicarse con Gateways de LoRa WAN y cuenta con múltiples bondades [13].



*Figura 1 Socket NEMA FRE-220.
Fuente:Página de internet de Intellilight.*

Esta empresa vende las luminarias acompañadas con los dispositivos encargados de la comunicación dependiendo del protocolo que cumpla las necesidades, los elementos que ofrece son 3 y estos varían dependiendo del protocolo de comunicación:

- Controlador de Luminaria: Es el elemento encargado de analizar cada luminaria y dar aviso de cualquier problema que surja. Se instala dentro de cada una de las luminarias.
- Controlador y monitor de panel de control de luminarias: Este dispositivo se encarga de monitorear y controlar el panel desde donde todas las luminarias se encuentran conectadas. Se instala dentro del panel y es uno por red de luminarias.
- Rúter: Es el dispositivo encargado de comunicarse con los anteriores y de enviar la información haciendo uso de la red de internet.

En la Figura 2 podemos observar la arquitectura planteada para su sistema de monitoreo basada en Routers de WiSun en la cual las lámparas funcionan entre sí como nodo y repetidor de tal manera que el nodo final se encuentra enlazado al rúter y así la información es enviada [25].



Figura 2 Arquitectura del sistema IntelliLIGHT WiSun.
Fuente: Página de internet de Intelilight.

En la Figura 3 observamos la arquitectura del sistema IntelliLIGHT LonWorks PLC basada en el protocolo de comunicación LonWorks para PLC con un control y monitor de panel de luminarias funcionando como terminal remota (RTU) que captura toda la información y la envía por medio del protocolo de internet.

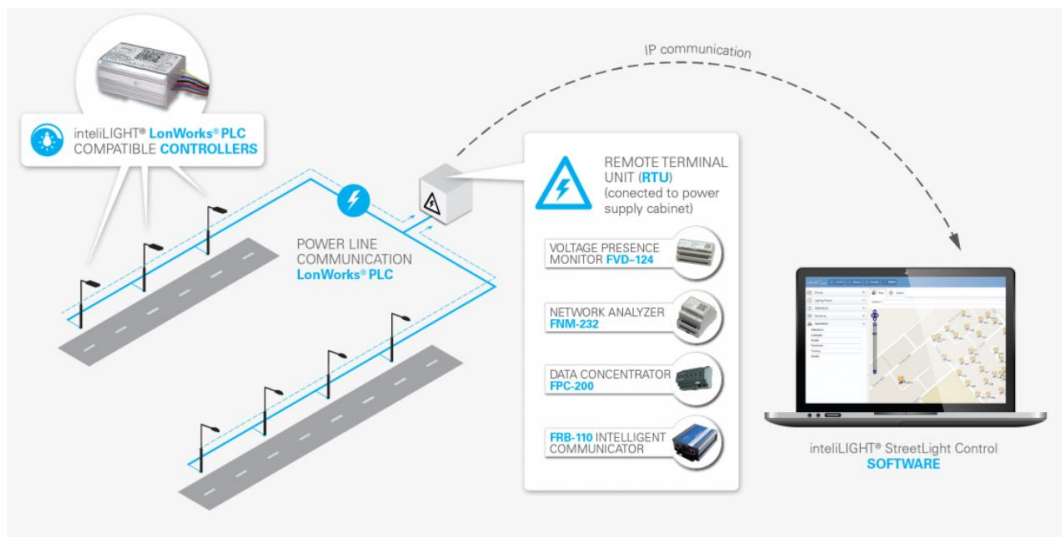


Figura 3 Arquitectura del sistema IntelliLIGHT LonWorks PLC.
Fuente: Página de internet de Intelilight.

En la Figura 4 se observa el sistema de IntelliLIGHT adaptado para trabajar por medio del protocolo de transferencia Lora WAN donde cada nodo independientemente alcanza al rúter dada su larga distancia de cobertura [26].

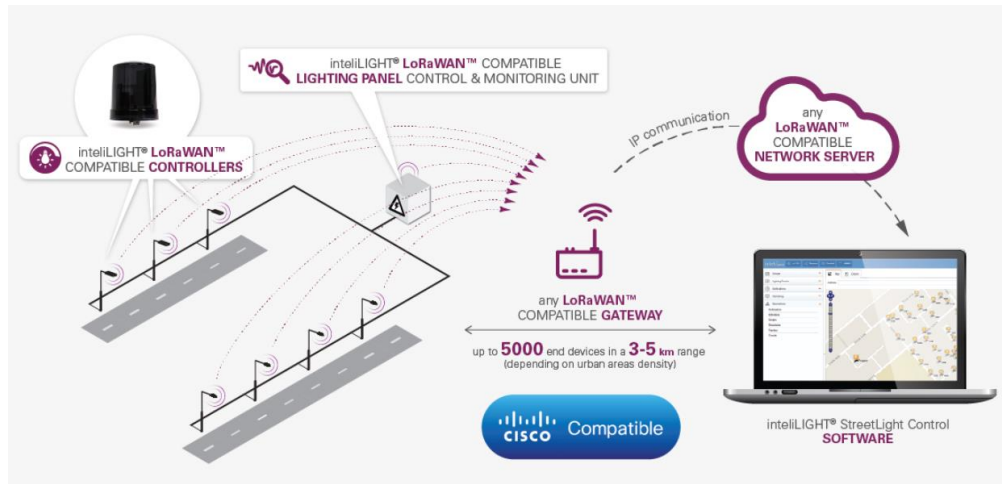


Figura 4 Arquitectura del sistema IntelliLIGHT Lora WAN.
Fuente: Página de internet de Intelilight.

Por último en la Figura 5 observamos el sistema adaptado para trabajar con el protocolo NB-IoT con un operador GSM el cual permite mandar la información al software de control por medio del protocolo de internet[27].

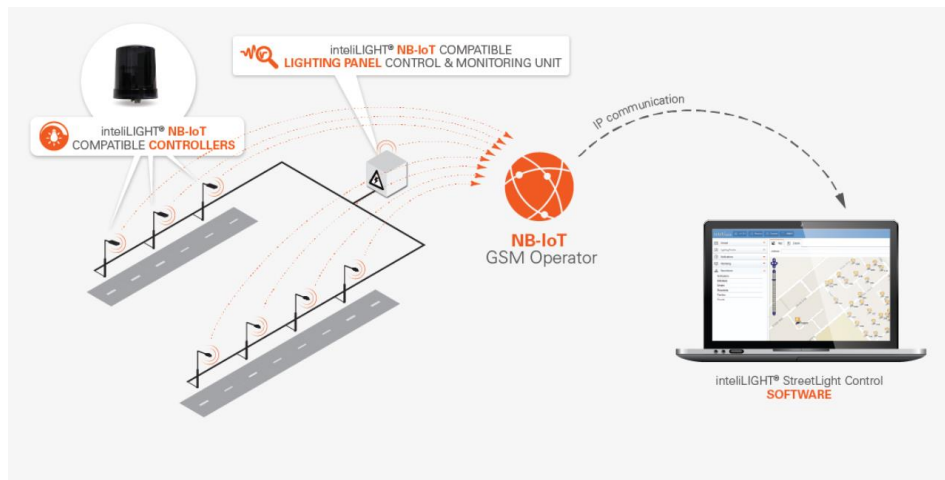


Figura 5 Arquitectura del sistema IntelliLIGHT NB-IoT.
Fuente: Página de internet de Intelilight.

Como todo lo anterior demuestra, la empresa IntelliLIGHT resulta ser la competencia con la cual el sistema a desarrollar se enfrentará directamente. Con la ventaja de reducción de costos a favor del sistema desarrollado así como la comprensión del esquema de iluminación que se utiliza en el país. Este resulta ser un reto dada la amplia experiencia de la empresa antes mencionada en control y monitoreo de luminarias [28], [29].

2.4 Redes de Comunicación

Como se vio anteriormente, existen diferentes productos para realizar la misma actividad, sin embargo todos estos productos varían entre si según el protocolo de comunicación utilizado. Dependiendo de la arquitectura que maneje cada país en cuestión a sus luminarias y dependiendo del tamaño de la inversión es que se realiza la selección del protocolo de comunicación. En México existe la situación que las distancias son largas entre luminarias y su panel de control, el recableado de todas estas resulta casi imposible debido a la enorme cantidad de acciones necesarias para modificar la infraestructura de cualquier zona y dada la situación económica de las distintas zonas donde el sistema podría ser aprovechable resulta necesario seleccionar un protocolo que pueda cubrir grandes distancias, que sea lo menos invasivo posible y además que tenga un bajo costo de inversión y operación. Para esto se analizaron distintos protocolos de comunicación [24] [30].

2.4.1 Redes GSM.

Global System for Mobile communications por sus siglas en inglés son un tipo de redes las cuales su funcionamiento se basa en el uso de terminales móviles las cuales se conectan a antenas identificándose por medio de tarjetas "SIM", al realizar la autenticación la comunicación de las antenas se emite a un controlador de estación-base quien por último envía esta información al centro de conmutación permitiendo que este protocolo funcione.

Este protocolo tiene un alcance de entre 15-20Km en entornos con línea de visión, mientras que en zonas urbanas se consigue un alcance de aproximadamente 1Km.

Existe una problemática con este tipo de protocolos y es que al depender de las antenas cercanas existe un costo de uso el cual es bastante elevado debido a las tarifas de redes móviles existentes actualmente en México.

2.4.2 Redes SigFox.

SigFox es un protocolo de comunicaciones que utiliza una señal de gran alcance y bajo poder LPWAN (Low Power Wide Area Network) las cuales pueden lograr grandes distancias de comunicación y es actualmente muy utilizada para

intercomunicar dispositivos IoT puesto que estos no necesitan grandes tamaños de información.

Este tipo de comunicaciones resulta muy útil para cubrir grandes distancias de hasta 25Km teóricos, sin embargo al ser SigFox un operador de redes, este servicio cuenta con un costo que debe ser pagado dependiendo del plan de información que se contrate.

2.4.3 Redes LoRa WAN.

Al igual que SigFox, LoRa es un protocolo de comunicaciones que utiliza una señal de gran alcance y bajo poder LPWAN y es actualmente muy utilizada para intercomunicar dispositivos IoT puesto que estos no necesitan grandes tamaños de información.

Este tipo de comunicaciones resulta muy útil para cubrir grandes distancias de hasta 15Km y cuentan con una topología de estrella las cuales cada nodo central o concentrador se conecta con otros nodos centrales para así conectarse con un servidor central de la red. Debido a esto, para operar una Red LoRa WAN lo que se necesita es contar con los nodos, los concentradores y un servidor en línea hacia donde la información se llegue a conectar. Por ende los costos son iniciales y no se necesita de un pago mensual de servicio.

2.4.4 Redes WiFi.

El WiFi es un protocolo de comunicación basado en el estándar IEEE 802.11 que permite altas velocidades de transmisión de datos. El alcance de estas redes es relativamente bajo, sin embargo por medio de antenas el área y alcance de estas redes puede ser aumentado, sin embargo estas antenas tienden a tener costos altos haciendo la inversión inicial bastante alta.

2.4.5 Redes BLE.

El Bluetooth Low Energy (BLE) es un protocolo de comunicación basado en las redes de área personal (Personal Area Network o PAN) destinado a dispositivos de uso personal. Este protocolo permite velocidades de transmisión bajas haciéndolo muy útil para dispositivos pequeños. El alcance de estas redes es bajo siendo su mayor distancia de cobertura de hasta 100m. Al ser un protocolo de bajo consumo

su corriente es muy poca y resulta ser muy adecuado para dispositivos que utilicen batería.

2.4.5 Redes ZigBee.

Las redes Zigbee son un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica pensados en la creación de redes estables para dispositivos con baja tasa de transferencia de datos, está basado en las redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network o WPAN) bajo el estándar IEEE 802.15.4. Este protocolo permite velocidades de transmisión bajas haciéndolo muy útil para redes hogareñas o de área pequeña pero con una gran cantidad de nodos. El alcance de estas redes es bajo siendo su mayor distancia de cobertura de hasta 75m. Al ser un protocolo de bajo consumo su corriente es muy poca y resulta ser muy adecuado para dispositivos que utilicen batería.

2.5 Resultado.

Tomando lo anterior en cuenta, las redes LoRa WAN fueron seleccionadas debido a que estas otorgan una de las mayores distancias de envío y recepción de información en contraste contra su costo, consumo y el tamaño de antenas que esta necesita, aunque sacrificando tasa de envío de datos. Sin embargo como la aplicación de este sistema no requiere grandes cadenas de información este protocolo resulta óptimo para su utilización. [2], [9], [12], [23], [31]



Capítulo 3

Desarrollo

Capítulo 3. Desarrollo del Dispositivo

3.3 Metodología de Desarrollo

Debido a los requerimientos obtenidos a partir de la investigación incluyendo hardware y software, además de la experiencia del desarrollador, el método seleccionado para el dispositivo es la metodología del modelo en V, esto debido a sus constantes iteraciones hasta que el producto resulte finalizado.

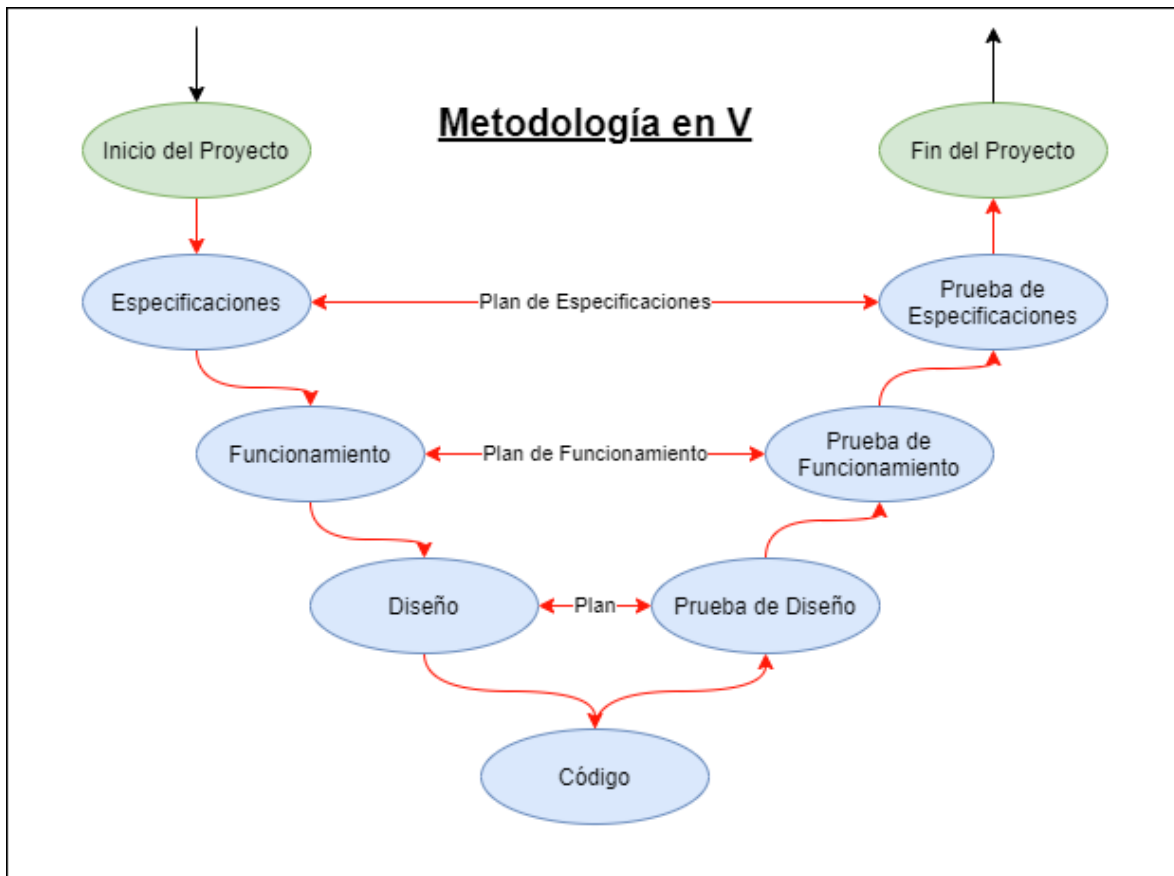


Figura 6 Metodología de desarrollo en V.
Fuente:Elaboración propia.

Como se puede observar, en la Figura 6 se encuentra la metodología a seguir para el desarrollo del dispositivo, este plan está constituido por 4 Fases en las cuales del lado izquierdo se realizará el procedimiento, del lado derecho se representan las pruebas necesarias para confirmar que lo establecido funciona y las flechas rojas intermedias implican una planeación donde se diseña la prueba a realizar, en caso de algo resultar erróneo por medio de las flechas intermedias se pueden hacer iteraciones con el fin de reparar cualquier inconveniente.

En el primer nivel de especificaciones nos encontramos con lo ya visto anteriormente, en este punto se establecen las especificaciones necesarias y los requerimientos mínimos para que el sistema cumpla con el propósito.

En el segundo nivel encontramos con el funcionamiento, en esta sección se toma en cuenta el cómo debe funcionar el dispositivo, los elementos necesarios para que éste cumpla con las necesidades establecidas, así como el cómo se comunicarán entre ellos.

En el tercer nivel se encuentra el diseño, donde se muestra el desarrollo electrónico y el diseño de la tarjeta que cumplirá con la conexión necesaria para que el sistema realice sus actividades.

Por último tenemos el nivel de código, en el cual se creará el código necesario para realizar las actividades del sistema.

Cada etapa de la derecha es solo una confirmación de su etapa izquierda en la cual se verifica el cumplimiento de las necesidades para cada nivel.

3.4 Especificación

Para realizar un correcto acercamiento primeramente se establecieron las necesidades mínimas indispensables con las que debe de contar el sistema en cuestión. Para ello se llevó a cabo un dialogo con las personas más cercanas a las luminarias, los elementos del departamento de alumbrado público de la ciudad de Aguascalientes. A partir de este dialogo y tras las necesidades de la luminaria se obtuvieron los requerimientos funcionales y no funcionales para después poder ensamblar los requerimientos técnicos.

3.4.1 Requerimientos funcionales.

Los requerimientos funcionales son aquellos que necesitan ser analizados por el diseñador de software y procesados por el controlador incluido dentro del sistema. Tras el análisis que se realizó en la junta se identificaron los siguientes puntos:

- **Análisis de la corriente que fluye por la luminaria:** Primeramente el sistema necesita detectar cuando una luminaria se encuentra trabajando de manera correcta o cuando existe un fallo, este análisis se puede dar por muchas

variables, tanto iluminación, temperatura e incluso vibraciones dentro de la luminaria, sin embargo la variable que está directamente relacionada con el funcionamiento de la luminaria, así como la de más fácil y barata lectura, es la corriente. Para poder hacer el análisis del funcionamiento el sistema deberá analizar la corriente que se encuentra fluyendo por la luminaria.

- **Análisis de la alimentación otorgada a la luminaria:** Como segundo paso, la alimentación a la luminaria también afecta al estado de esta. Por ende el sistema debe ser capaz de detectar el voltaje que se está entregando para detectar sobrecargas o bajos niveles de tensión en las terminales de la luminaria.
- **Análisis del estado de la luminaria con respecto al horario:** Otro problema que es común encontrar es cuando una serie de luminarias se encuentran encendidas o apagadas a una hora que no es la adecuada, acortando así su vida útil y consumiendo recursos eléctricos, por ende resulta necesario incluir un método de lectura horaria para así poder analizar si ésta se encuentra en un estado inadecuado.
- **Cambio de estado de la luminaria:** Por último, en caso de que se registre una situación que pueda afectar al sistema o que resulte incongruente para el uso de las luminarias, se debe contar con la capacidad para cambiar el estado de la luminaria puesto que en el caso en que estas se encuentren encendidas en horarios que no sean requeridos el usuario pueda apagarlas a distancia mientras el equipo cambia el estado de la luminaria manualmente de manera física dado a que actualmente las luminarias encienden por medio de un temporizador que cuando llega una hora dada en el día enciende las luminarias. Sin embargo estos tienden a fallar encendiéndolas en horarios inadecuados, por lo que es necesario contar con un sistema de respaldo ante estas fallas.

3.4.2 Requerimientos no funcionales.

Los requerimientos no funcionales son aquellos que resultan demandados tanto por el estado físico de la instalación, así como por los pasos a seguir para situar el sistema o dispositivo, en este caso la pauta fue basada en el conocimiento de los elementos del departamento de alumbrado público del estado de Aguascalientes. Tras el análisis descrito anteriormente se pudieron rescatar los puntos clave para este desarrollo, los cuales incluyen:

- **Largo alcance en la emisión y recepción de información:** El punto primordial de toda esta investigación así como del desarrollo es el hecho de poder comunicar e interconectar todas las luminarias dentro de una zona urbana, para esto resulta indispensable el añadir un método de conexión que soporte largo alcance y que el envío pueda soportar la cantidad de información a enviar. Es por ello que se optó por las redes LoRa.
- **Soporte de 220V AC:** Causado por el voltaje que suministra la red eléctrica a la luminaria.
- **Capacidad de soportar temperaturas altas:** Debido a que el sistema se encontrará instalado cerca de la luminaria y estas disipan diferentes potencias a manera de calor dependiendo del tipo de funcionamiento, resulta indispensable el que el sistema soporte estas temperaturas, sin sufrir daños.
- **Soporte de energía propio:** Dado que las luminarias no siempre son suministradas de energía eléctrica, el sistema deberá ser capaz de mantenerse a sí mismo, y cargarse cuando el suministro eléctrico sea reestablecido.
- **Bajo consumo:** Esta necesidad surge a partir del punto anterior, al no existir una alimentación óptima, el sistema deberá limitar sus recursos para poder cubrir la necesidad básica de conectar la luminaria, por ende resulta indispensable.

3.4.3 Reporte de Requerimientos

El reporte de requerimientos donde todos son tomados de una manera más formal es el siguiente:

ID:	RU01.
Nombre:	Prototipado rápido.
Características:	Desarrollo.
Descripción:	Se desea que el proyecto sea realizado de la manera más rápida posible.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 2 Requerimiento de Usuario 1.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RU02.
Nombre:	Instalación en infraestructura existente.
Características:	Instalación del proyecto.
Descripción:	Se desea que la instalación sea realizada en estructuras de antenas ya existentes.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 3 Requerimiento de Usuario 2.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RU03.
Nombre:	Costo bajo.
Características:	Costo del proyecto.
Descripción:	Se desea que el costo general sea accesible para el departamento de alumbrado público.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 4 Requerimiento de Usuario 3.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RF01.
Nombre:	Medición de corriente.
Características:	Medición.
Descripción:	El sistema mide correctamente la corriente que circula a través de un cable de alta tensión.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 5 Requerimiento Funcional 1.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RF02.
Nombre:	Análisis de comportamiento de corriente.
Características:	Medición.
Descripción:	El sistema hace un análisis en tiempo del comportamiento de la corriente en búsqueda de cambios bruscos o fuera de los límites de la normalidad.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 6 Requerimiento Funcional 2.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RF03.
Nombre:	Envío de datos a larga distancia.
Características:	Data.
Descripción:	Los datos de lectura son enviados a larga distancia por medio del protocolo de comunicación.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 7 Requerimiento Funcional 3.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RF04.
Nombre:	Recepción de datos.
Características:	Data.
Descripción:	Los datos son recibidos a partir de Gateways los cuales son conectados con el servidor por medio de internet.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 8 Requerimiento Funcional 4.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RF05.
Nombre:	Apagado remoto de luminarias.
Características:	Data.
Descripción:	El módulo puede realizar la activación de un relevador para realizar apagados remotos desde la oficina en caso de emergencia.
Prioridad del requerimiento: BAJA.	

*Cuadro 9 Requerimiento Funcional 5.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RNF01.
Nombre:	Alimentación.
Características:	Instalación.
Descripción:	Los módulos deberán contar con una fuente de alimentación estable de 110VAC/220VAC.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 10 Requerimiento No Funcional 1.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RNF02.
Nombre:	Entorno de instalación del módulo.
Características:	Instalación.
Descripción:	El módulo será instalado dentro de un panel de control donde no existe contacto con líquidos.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 11 Requerimiento No Funcional 2.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RNF03.
Nombre:	Señal de medición.
Características:	Señales.
Descripción:	La señal entregada al módulo deberá de ser constante y calibrada.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 12 Requerimiento No Funcional 3.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RNF04.
Nombre:	Instalación.
Características:	Instalación.
Descripción:	El equipo deberá ser instalado por personal calificado.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 13 Requerimiento No Funcional 4.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RNF05.
Nombre:	Manipulación del módulo.
Características:	Instalación.
Descripción:	El módulo deberá ser manipulado solo por el personal encargado del diseño.
Prioridad del requerimiento: ALTA.	

*Cuadro 14 Requerimiento No Funcional 5.
Fuente:Elaboración propia.*

ID:	RNF06.
Nombre:	Manejo de datos.
Características:	Data.
Descripción:	El módulo solo podrá guardar la información de un día de trabajo pleno, en caso de ser desconectado de la red inalámbrica.
Prioridad del requerimiento: BAJA.	

*Cuadro 15 Requerimiento No Funcional 6
Fuente:Elaboración propia.*

3.5 Funcionamiento.

Para poder realizar la creación del dispositivo, resultó necesario cubrir todas las necesidades de la fase anterior, para ello se muestra la resolución que cada uno de los elementos utilizados resuelve.

3.6 Tarjetas de Desarrollo.

Considerando lo anterior, resulta necesario conocer que dispositivos existen en el mercado que puedan ayudar con el proyecto. Las tarjetas de desarrollo resultan ser necesarias al momento de crear un dispositivo dado que cuentan con todos los elementos necesarios para permitirle a los circuitos integrados trabajar de manera óptima.

Las tarjetas de desarrollo que se muestran a continuación son solo algunas que existen actualmente en el mercado con la capacidad de enviar información a través del protocolo LoRa.

3.6.1 Arduino MKR WAN 1300 (LoRa Connectivity).



Figura 7 Tarjeta Arduino MKR WAN 1300.
Fuente:Página de internet de Arduino.

Esta tarjeta , mostrada en la Figura 7, está basada en sistema de Arduino y es compatible con su IDE, está basada en el chip Atmel SAMD21 e incluye un sistema Murata CMWX1ZZABZ para el uso de LoRa. Esta tarjeta puede ser alimentada por medio de 2 baterías AA por medio de dos terminales de bloque que pueden ser encontradas en la parte superior de la tarjeta. Tiene un costo aproximado de \$700.00 MXN.

3.6.2 The Things Uno.



Figura 8 Tarjeta de desarrollo The Things Uno.
Fuente:Página de internet de The Things Network..

Es una tarjeta de desarrollo basada en el Arduino Leonardo con la implementación de un chip RN2483 de Microchip para la comunicación de LoRa. Es compatible con el IDE de Arduino y puede ser alimentado de 3 baterías AAA por medio del puerto dedicado. Tiene un costo de aproximadamente \$1,212.00MXN, es como la mostrada en la Figura 8.

3.6.3 LoRa Technology Kit - 900.

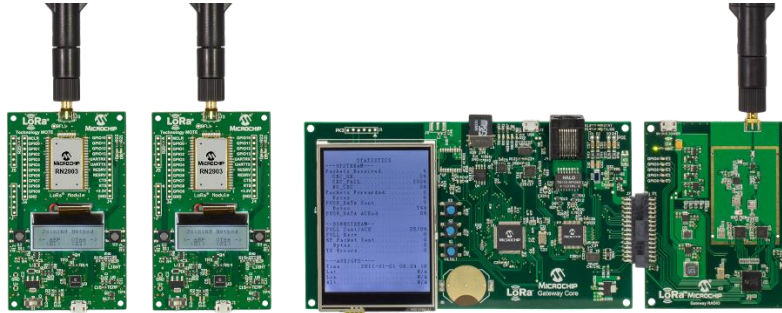


Figura 9 Kit de Microchip para comunicación LoRa.
Fuente: Página de internet de Microchip.

Este kit , mostrado en la Figura 9, es la apuesta de microchip para vender un producto listo para su uso, en él se incluye 2 nodos de LoRa basados en el chip RN2903 así como un gateway LoRa WAN de 8 canales el cual cuenta con comunicación Ethernet, así como una pantalla LCD y un puerto para tarjeta SD el cual permite la configuración del propio modulo. Este kit se encuentra completo para montar una pequeña red de LoRa. Su costo es \$10,943.00 MXN.

3.6.4 B-L072Z-LRWAN1.

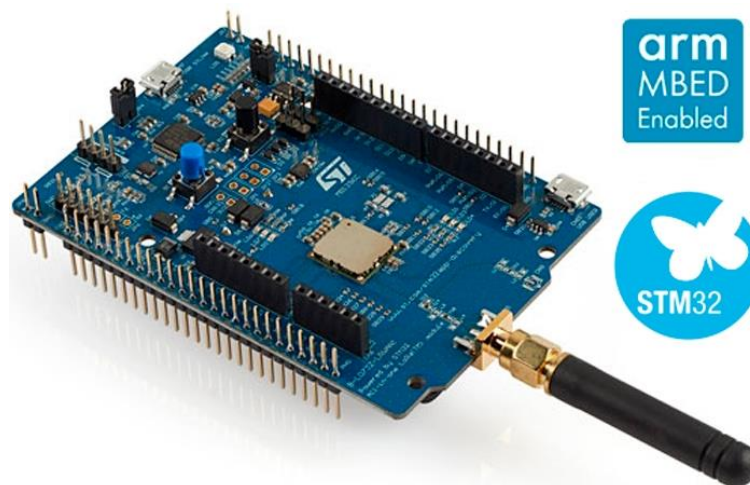


Figura 10 Tarjeta de desarrollo STM32.
Fuente: Página de internet de STMicroelectronics.

La tarjeta B-L0072Z-LRWAN1 , mostrada en la Figura 10, es un producto desarrollado por la marca STM basada en el chip CMWX1ZZABZ-091 de Murata para la comunicación LoRa/SigFox. Este sistema es manejado por un chip STM32L072CZ el cual trabaja a 32 bits y cuenta con un puerto para 2 baterías AA, Su costo es de aproximadamente \$1,016.00 MXN.

3.6.5 LoPy4.



Figura 11 Tarjeta LoPy4.
Fuente: Página de internet de Pycom.

La tarjeta LoPy4 , mostrada en la Figura 11, es una tarjeta cuya bondad es la posibilidad de ser programada en Python. Esta cual cuenta con un procesador Xtensa® dual-Core 32-bit LX6 y un chip Semtech SX1276 el cual permite la comunicación LoRa. Cuenta con capacidad de comunicarse vía Bluetooth y WiFi. Su costo es de aproximadamente \$870.00 MXN.

3.6.6 Heltec LoRa v2.

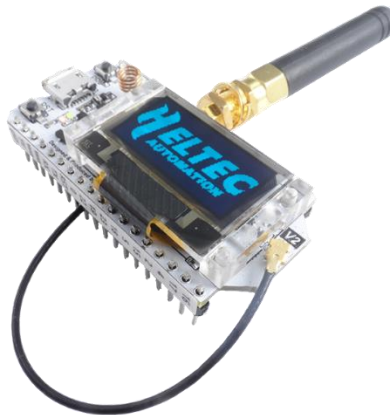


Figura 12 Tarjeta Heltec LoRa.
Fuente: Página de internet de Heltec.

Esta tarjeta, mostrada en la Figura 12, está basada en el chip ESP32 el cual cuenta con conectividad WiFi y Bluetooth, entre sus amenidades cuenta con un puerto para batería LiPo el cual se encarga de cargarla y de alimentar a la tarjeta, una pantalla OLED, además de permitir ser programada en Python. El costo de esta tarjeta es de \$340.00MXN. [32]

3.6.7 Tarjeta de desarrollo seleccionada

La tarjeta de desarrollo es el elemento que se encargará de realizar todas las acciones e implementar la solución. Para esto se analizaron las distintas posibilidades y se optó por la tarjeta de desarrollo Heltec WiFi LoRa V2 debido a varios factores. Uno de los factores de mayor peso que influyó en la selección de esta tarjeta fue debido a que ya cuenta con un chip de LoRa de bajo costo energético, además de otros protocolos de comunicación como Bluetooth y WiFi, cuenta con un puerto para manejo de carga y descarga de baterías litio así como una pantalla OLED. Todo esto resulta útil para el proyecto.

El costo de esta tarjeta ronda los \$750.00 MXN lo que la vuelve una opción de costo bajo y adecuada en el cumplimiento de las necesidades tecnológicas.

Con esta tarjeta se cumplen las necesidades establecidas en los requerimientos RU01, pues al encontrarse integrados los chips de comunicación en la tarjeta el prototipado del proyecto se convirtió una tarea rápida, RF03 dada su capacidad de analizar señales en alta velocidad puesto que es doble núcleo y cuenta con una velocidad de 240 MHz, los requerimientos RF03, RF04 son cumplidos gracias al chip LoRa el cual permite envío de datos a larga distancia, además del chip WiFi el cual permite envío de información a mayores velocidades pero menores distancias.

3.7 Sensor de efecto hall

Un sensor de efecto hall es un dispositivo que convierte el campo magnético generado por el flujo de la corriente eléctrica en una señal que puede ser leída por la tarjeta electrónica, para este caso se hizo el análisis de distintos sensores de efecto hall que podrían ser usados en el dispositivo. Todos los circuitos integrados analizados eran de la marca Allegro Systems, dada su amplia experiencia y gama en el desarrollo y creación de estos pequeños elementos.

Se tomaron en cuenta las necesidades del proyecto, tanto en fiabilidad como en voltaje de salida para la tarjeta, linealidad, frecuencia máxima de lectura, rango de corriente a leer, además del aislamiento necesario para evitar arcos eléctricos, dado que al cubrir con esto estaremos cumpliendo con el requerimiento RF01. En

el Anexo II [33] se pueden observar los diferentes modelos analizados para este proyecto.

De los circuitos integrados disponibles se optó por usar el ACS712 debido a su linealidad en la relación corriente-voltaje, su capacidad para medir corriente alterna, además de su aislamiento suficiente para evitar arcos eléctricos en el dispositivo, sin mencionar que el costo de este dispositivo es el más bajo. La única problemática generada por este modelo es que su salida es a 5v mientras que la tarjeta de lectura solo soporta 3.3v a la entrada de los pines digitales, sin embargo para el acoplamiento solo se necesitará un divisor de voltaje.

3.8 Fuente de voltaje

El dispositivo debe contar con una fuente de voltaje estable, encargada de energizar la tarjeta, esta fuente de voltaje entregará a la salida 5V puesto que es la tensión que la tarjeta admite a la entrada para cargar la batería con la que esta cuenta. Esta fuente deberá trabajar con un voltaje de alterna a la entrada y ser capaz de manejarse a 110/220 VAC.

Para ello tras el analizar el posible tiempo invertido en diseñar un conversor de voltaje así como el tamaño que un transformador podría añadir al dispositivo, se optó por instalar en el sistema un módulo ya desarrollado, encargado de convertir la corriente alterna en corriente directa.

La búsqueda por este dispositivo se realizó en los más comunes y bastos portales de internet, entre ellos Newark, Mouser, Digikey y algunos. Para el filtrado como lo muestra la Figura 15 las características fueron las siguientes:

- Numero de salidas: 1 debido a que solo se necesitará la salida para la tarjeta y el relevador.
- Potencia: 5W mínimo para obtener un rango de holgura en todos los sistemas.
- Voltaje de salida: 5VDC pues es el voltaje de la tarjeta utilizada.
- Corriente de salida: 1 A para poder alimentar de manera constante y sin calentamientos todos los dispositivos internos de la tarjeta de desarrollo.



Figura 13 Filtrado de fuentes de poder.
Fuente:Filtro de productos en página de Newark.

El filtrado arrojó 13 resultados, de los cuales se procedió a hacer un análisis de cual cumplía mejor con lo solicitado, tomando en cuenta en esta ocasión el costo del dispositivo, en la Figura 14 pueden apreciarse varios de estos elementos.

No. de pieza del fabricante	No. Parte Newark	Descripción / Fabricante	Disponibilidad	Precio para	Precio en USD	Cantidad	Aprobaciones de Fuentes de	Núm. de Salidas	Potencia de Salida	Voltaje de Salida - Salida 1	Corriente de Salida - Salida 1	Voltaje de Salida - Salida 2	Corriente de Salida - Salida 2	Voltaje de Salida - Salida 3
	62AC9634	Fuente de Alimentación Montaje PCB AC/DC, ITE & Hogar, 1 Salida, 5 W, 5 V, 1 A RECOM POWER ★★★★★ (0) Ver toda la información del producto	10 En stock	Each	1+ \$13.23 5+ \$13.04 10+ \$12.85 25+ \$12.09 50+ \$11.71 Más precios...	1 Agregar Min: 1 Mult: 1	ITE & Hogar	1 Salida	5W	5V	1A	-	-	-
	62AC9635	Fuente de Alimentación Montaje PCB AC/DC, ITE & Hogar, 1 Salida, 5 W, 5 V, 1 A RECOM POWER ★★★★★ (0) Ver toda la información del producto	11 En stock	Each	1+ \$14.14 5+ \$13.94 10+ \$13.74 25+ \$12.92 50+ \$12.52 Más precios...	1 Agregar Min: 1 Mult: 1	ITE & Hogar	1 Salida	5W	5V	1A	-	-	-
	62AC9636	Fuente de Alimentación Montaje PCB AC/DC, 1 Salida, 5 W, 5 V, 1 A RECOM POWER ★★★★★ (0) Ver toda la información del producto	11 En stock	Each	1+ \$20.07 5+ \$19.78 10+ \$19.49 25+ \$18.34 50+ \$17.76 Más precios...	1 Agregar Min: 1 Mult: 1	ITE	1 Salida	5W	5V	1A	-	-	-

Figura 14 Opciones de compra de fuente de alimentación.
Fuente:Filtro de productos en página de Newark.

El dispositivo seleccionado para realizar esta acción es la fuente de voltaje RAC05-K/277 la cual cumple con las capacidades mostradas en el Anexo III.

Esta fuente de voltaje cuenta con la capacidad de funcionar con un rango de entrada de 85 - 305 VAC y entregar a la salida 5V y 1A máximo de corriente. Además cuenta con una eficiencia del 80% la cual resulta mayor que utilizar un transformador y reguladores de voltaje. La decisión de comprar este dispositivo fue tomada a causa del costo del mismo.

3.9 Relevador

La selección del relevador para cumplir con el requisito RF05 resultó ser bastante sencilla, este debe cumplir con la necesidad que de poder activar y desactivar las

luminarias, por ende, debe contar con un contacto normalmente cerrado para el correcto funcionamiento de la lógica que se ideó, puesto que de no contar con él al momento de apagarse o dañarse el dispositivo la luminaria se apagaría automáticamente, además de contar con la capacidad para manejar al menos 20 A y poder ser activado por la fuente que se seleccionó anteriormente (5VDC) para poder realizar la búsqueda y posterior compra del dispositivo solicitado. La búsqueda se realizó en los mismos sitios que la fuente de alimentación. Al igual que en la fuente de voltaje, la Figura 15 es de la plataforma de Newark, debido que es de esta página de donde fue adquirido.

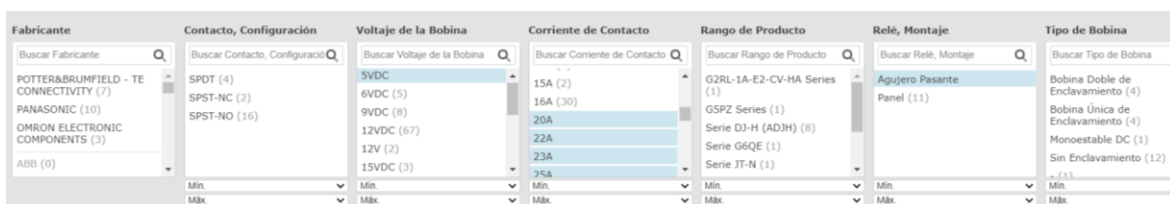


Figura 15 Filtro de búsqueda para relevador.
Fuente: Filtro de productos en página de Newark.

El filtro realizado para la compra de este dispositivo como lo muestra la Figura 18 fue con las siguientes características:

- Voltaje de Bobina: 5VDC debido a que este representa el voltaje que nos genera la fuente de alimentación.
- Corriente de contacto: Mínimo 20 A puesto que es la mínima corriente que la luminaria consumirá.
- Montaje: Agujero pasante debido a que está pensado para usarse en una tarjeta PCB.
- Contacto: NC o SPDT Debido a que se requiere que la luminaria se mantenga encendida aún si el dispositivo se encuentra apagado.

Como resultado existen aproximadamente 6 dispositivos diferentes que cumplieran con las características.

































 T9GV5L1 4-5	 53AC0733	Relevador de Potencia, SPDT, 5 VDC, 20 A, Serie T9G, Agujero Pasante, Sin Enclavamiento POTTER&BRUMFIELD - TE CON NECTIVITY ★★★★★ (0) ± Ver toda la información del producto	 493 En stock	Each Disponibile en la cantidad indicada	1+  \$2.97 10+  \$2.97 25+  \$2.97 100+  \$2.97 250+  \$2.97 Más precios...	1  Agregar Min: 1 Mult: 1	SPDT	5VDC	20A	Serie T9G	Agujero Pasante	Sin Enclavamiento	250V	Sok
 T9GS1L14 -5	 53AC0643	Relevador de Potencia, SPST-NO, 5 VDC, 30 A, Serie T9G, Agujero Pasante, Sin Enclavamiento POTTER&BRUMFIELD - TE CON NECTIVITY ★★★★★ (0) ± Ver toda la información del producto	 52 En stock	Each Disponibile en la cantidad indicada	1+  \$2.33 10+  \$2.33 25+  \$2.33 50+  \$2.33 100+  \$2.33 Más precios...	1  Agregar Min: 1 Mult: 1	SPST-NO	5VDC	30A	Serie T9G	Agujero Pasante	Sin Enclavamiento	250V	Sok
 T9ASSD1 2-5	 57AC2583	Relevador de Potencia, SPDT, 5 VDC, 20 A, T9A Series, Agujero Pasante, Sin Enclavamiento TE CONNECTIVITY ★★★★★ (0) ± Ver toda la información del producto	 42 En stock	Each Disponibile en la cantidad indicada	1+  \$4.82 10+  \$4.81 25+  \$4.81 50+  \$4.41 100+  \$4.41 Más precios...	1  Agregar Min: 1 Mult: 1	SPDT	5VDC	20A	T9A Series	Agujero Pasante	Sin Enclavamiento	277V	Sok
 T9GS5L14 -5	 53AC0679	Relevador de Potencia, SPDT, 5 VDC, 20 A, Serie T9G, Anujero	 En stock	Each	1+  \$3.01 10+  \$3.01	1	SPDT	5VDC	20A	Serie T9G	Agujero Pasante	Sin Enclavamiento	250V	Sok

Figura 16 Resultados del filtrado.
Fuente:Filtro de productos en página de Newark.

Para esto se optó debido a la disponibilidad en el país por el relevador T9GS5L14-5, el cual cumple con las características necesarias y además tiene un beneficio en el costo. En el Anexo IV podemos observar las capacidades del relevador tomadas de la hoja de datos.

Dada la fuente de voltaje seleccionada para alimentar la tarjeta resultaba necesario que la bobina de este fuera de 5VDC.

3.10 Base de Datos.

La base de datos es la parte encargada de guardar la información del dispositivo en un solo sitio, desde este sitio existe la necesidad de que se pueda acceder a él por medio de distintos dispositivos. Para esta base de datos se hizo el análisis de las bases existentes para así poder elegir la más adecuada de acuerdo a nuestras necesidades. Las bases de datos analizadas fueron las siguientes.

3.10.1 Mongo DB



*Figura 17 Logo MongoDB
Fuente:Página de internet de MongoDB.*

MongoDB, cuyo logo es mostrado en la Figura 17, es una base de datos del tipo NoSQL desarrollado por la empresa MongoDB inc. Esta base de datos guarda los documentos a manera de un JSON y cuenta con un lenguaje de consulta bastante útil que puede ordenar o hacer filtraciones de manera rápida. Este tipo de base está pensada para funcionar en aplicaciones generales por ende tiene muchas capacidades, sin embargo la dificultad con ella es que resulta necesario realizar una unión por medio de JavaScript, por ejemplo por medio de NodeRed.

3.10.2 MySQL



*Figura 18 Logo MySQL
Fuente:Página de internet de MySQL.*

MySQL , cuyo logo es mostrado en la Figura 18, es un gestor de base de datos desarrollado por Oracle la cual usa su propio lenguaje para tener acceso a la información dentro de la base de datos. Este tipo de bases de datos es actualmente la más utilizada en el mundo y pueden encontrarse bastantes servicios en internet basados en ella.

3.10.3 Arduino IoT cloud



Figura 19 Arduino IoT Cloud
Fuente:Página de internet de Arduino.

Arduino IoT cloud , cuyo logo es mostrado en la Figura 19, es una base de datos en la nube de fácil acceso la cual nos permite conectar hardware directamente y realizar la configuración de manera gráfica por medio de dibujos que simbolizan los elementos más comunes usados por Arduino. Este tipo de base de datos aún se encuentra en beta y solo funciona con algunas tarjetas de la línea MKR de Arduino.

3.10.4 Google Firebase



Figura 20 Logo de Google Firebase.
Fuente:Página de internet de Google Firebase.

Firebase, cuyo logo es mostrado en la Figura 20, es una plataforma de desarrollo de base de datos en la nube creada por la empresa Google la cual provee una API para guardar y sincronizar los datos en la nube a la cual se puede acceder desde dispositivos móviles en plataformas como App inventor, GUI's creadas a partir de Node Red, o aplicaciones web. Cabe mencionar que para esta plataforma existen bibliotecas de microcontroladores las cuales nos permiten acceder a los datos de forma remota haciendo uso solamente del WiFi.

3.10.5 Base de Datos seleccionada.

Para la selección de base de datos se tomó en cuenta tanto la disponibilidad de las opciones anteriores, así como la facilidad de instalación y uso. Primeramente la base de datos en nube de Arduino aún se encontraba en modo beta y solo funciona con tarjetas del modelo MKR, por ende esta fue descartada. La problemática con

MongoDB y MySQL es la necesidad de montar la base de datos en un servidor propio, lo cual resulta en tiempo añadido al proceso de desarrollo. Aunado a esto, el desarrollador del dispositivo contaba con conocimientos previos a la base de datos de firebase. Por ende la decisión tomada fue hacer uso de Firebase.

3.11 Arquitectura

La arquitectura establecida con los elementos mencionados anteriormente es la que se describe en la Figura 21.

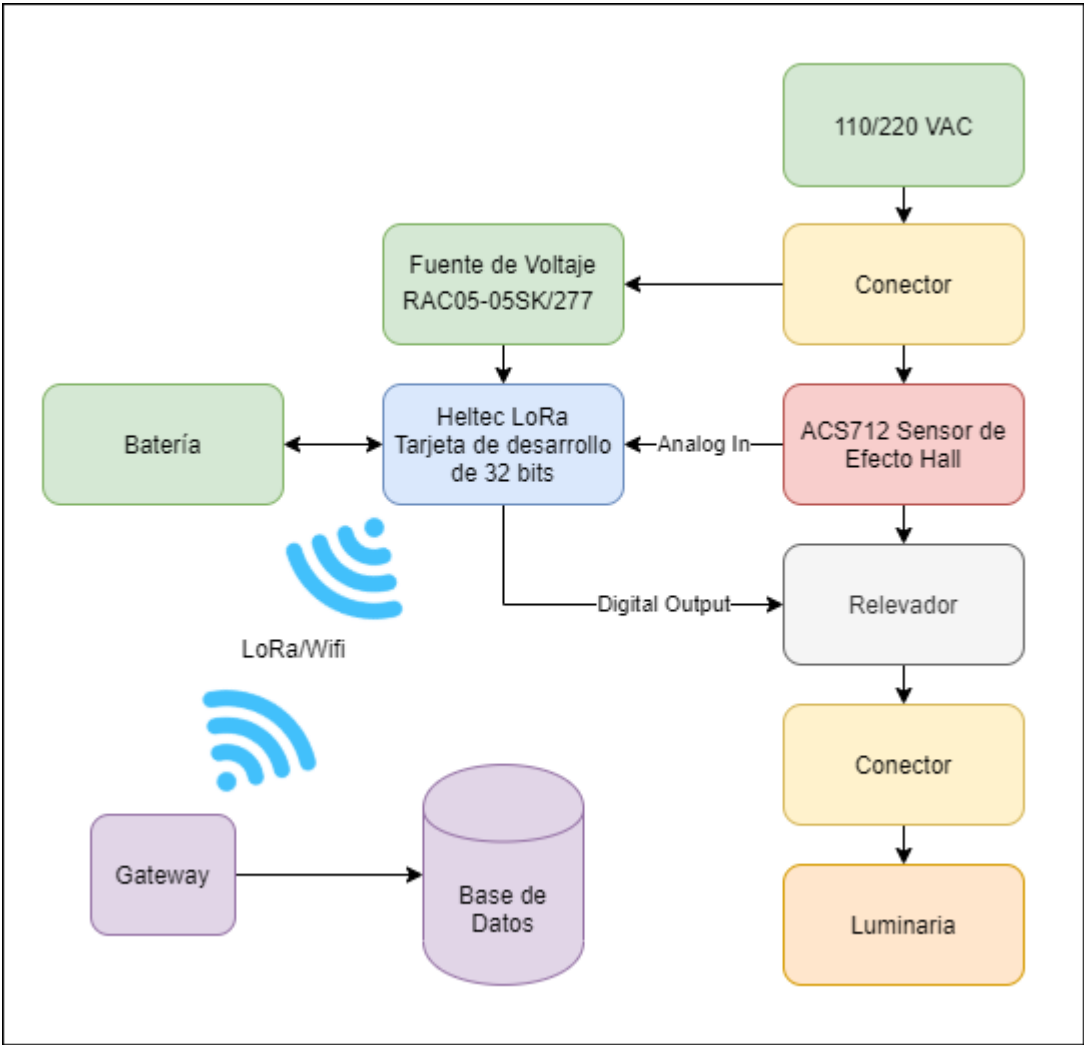


Figura 21 Arquitectura de Sistema.
Fuente:Elaboración propia.

Comenzando por el centro, el recuadro azul indica el procesador central el cual es la tarjeta de desarrollo Heltec LoRa, esta será la encargada de leer y recopilar la información de todos los dispositivos. En los recuadros verdes podemos

observar los elementos encargados de la alimentación, del lado izquierdo se aprecia la batería, que es recargada por medio del módulo de carga de baterías LiPo con el que cuenta la tarjeta de desarrollo cuando la fuente de voltaje se encuentra alimentada, mientras que cuando se encuentra sin alimentación la batería se encarga de alimentar la tarjeta para poder dar lectura de la red eléctrica.

Del lado derecho, podemos notar que la red eléctrica a 110/220VAC pasa a través del sensor de efecto hall, el cual lee la corriente que fluye y que atraviesa el relevador para en caso de ser necesario apagar la luminaria a distancia.

Por último la tarjeta cuenta con la capacidad de conectarse a gateways por medio de LoRa y de WiFi para poder hacer envío de esta información.

3.12 Desarrollo

Para el desarrollo se hizo uso de las hojas de datos de los elementos anteriores para realizar correctamente la conexión de éstos. Para ello fue utilizado el software Eagle tanto para el esquemático como para la creación de las PCB a manufacturar.

3.12.1 Esquemático

Como se vio en la arquitectura, inicialmente resultaba necesario introducir dentro de la tarjeta la señal de línea de 220VAC, para ello se hizo uso de conectores como los mostrados en la Figura 22 encargados de distribuir el voltaje en la tarjeta.



*Figura 22 Conector Terminal Block MC002077.
Fuente:Página de internet de Newark.*

Al distribuir el voltaje, la primera etapa es permitir el flujo a través de la tarjeta para que llegue a la luminaria, pasando a través del sensor de efecto hall, el circuito se muestra en la Figura 23 tomada de la hoja de datos.

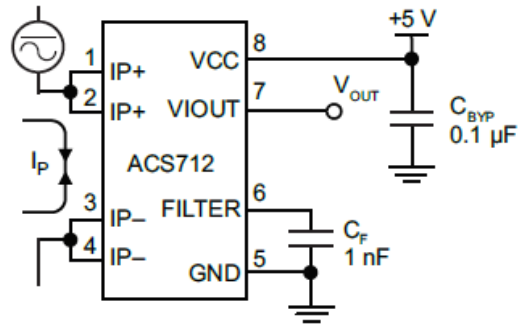


Figura 23 Conexión ACS712 según hoja de datos.
Fuente: Hoja de datos de ACS712.

Como puede observarse, el voltaje de 110/220 VAC llega al conector como IP+ y sale de éste como IP-, después de esto en el pin de filtro lleva un capacitor de 1nF para otorgar una salida de voltaje sin ruido y un capacitor bypass de 0.1 uF en el pin VCC el cual es encargado de mantener estable el voltaje a la entrada del circuito integrado. La conexión para la aplicación desarrollada se puede observar en la Figura 24.

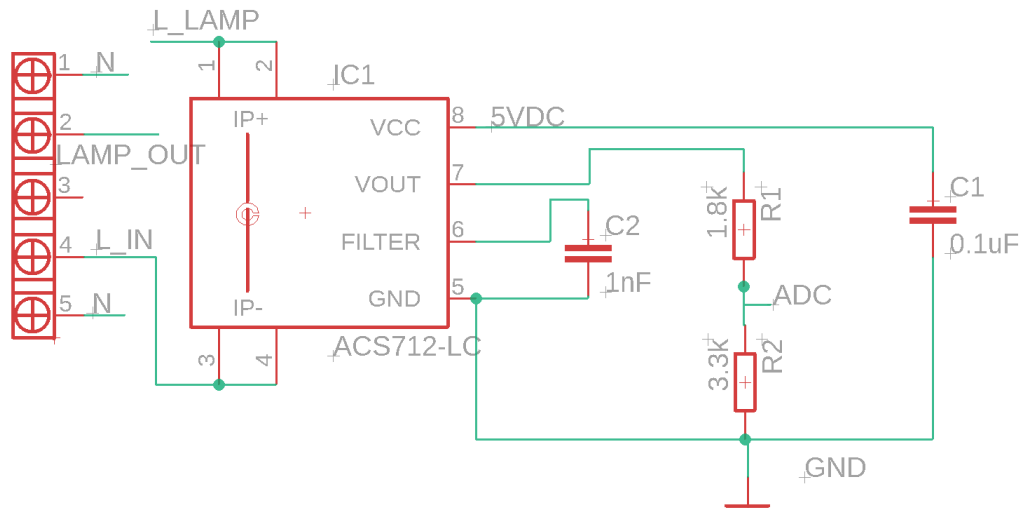


Figura 24 Conexión de sensor ACS712 en esquemático.
Fuente: Elaboración propia.

Así como aparece en la Figura 26, del lado izquierdo puede apreciarse el conector en el cual llegan los cables de Línea y Neutro que llevan a la luminaria, al hacer la instalación el usuario debe cortar estos cables y conectar la entrada a los puertos 4 y 5, mientras la salida a los puertos 1 y 2. La corriente que fluye a través de la luminaria debe pasar por los pines IP- e IP+ para poder lograr la lectura, en la

parte superior vemos la pista que iría a la luminaria. Del lado derecho podemos observar los capacitores necesarios como mostraba la hoja de datos y a la salida dos resistencias en serie las cuales actúan como divisor de voltaje para poder convertir la señal analógica de 0-5v a 0-3.3v dado que esta es la tensión que la tarjeta admite a la entrada analógica. Para esto se hizo el cálculo:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Cambiamos los valores y queda de la siguiente manera:

$$V_{out} = 5v \left(\frac{1.8k\Omega}{3.3k\Omega + 1.8k\Omega} \right)$$

$$V_{out} = 5v \left(\frac{1.8k\Omega}{5.1k\Omega} \right)$$

$$V_{out} = 3.24v$$

Con esto el valor máximo que obtendremos a la salida de nuestro divisor de voltaje es de 3.24v, permitiendo que la tarjeta pueda manejarlo sin complicaciones.

Del conector también se unen dos pistas encargadas de alimentar la tarjeta, por ende van del conector a la fuente convertidora de AC/DC como se muestra en la Figura 25.



Figura 25 Conector de fuente de voltaje AC/DC en esquemático.
Fuente:Elaboración propia.

Como se observa para la fuente de alimentación se necesitan dos pistas, una que viene de la línea de entrada y otra del neutro, de este dispositivo salen 2 pistas las cuales son tierra y 5VDC.

En la Figura 26 se puede observar como la pista que sale del sensor de efecto hall con bandera L_Lamp atraviesa al relevador por el contacto normalmente cerrado (dado a que es el estado normal de la luminaria cuando esta es alimentada) y da salida al conector que se vio en la Figura 24 para llegar de esta manera a la luminaria.

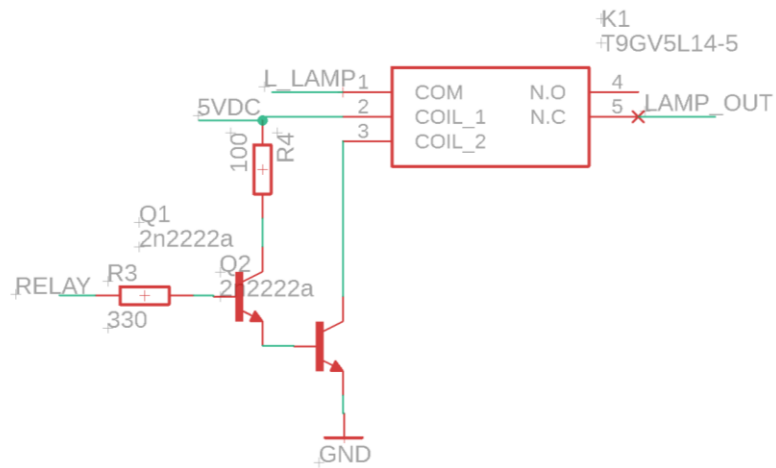


Figura 26 Conector de Relevador y etapa de potencia en esquemático.
Fuente:Elaboración propia.

Como se puede observar, del lado izquierdo del relevador tenemos la etapa de potencia encargada de amplificar la corriente de salida de la tarjeta de desarrollo para que de esta manera el relevador se active. Esto se trata de un arreglo de transistores 2N2222A tipo Darlington trabajando en corte y saturación. Dado que la salida máxima por pin de la tarjeta es de 12 mA, por ende a la salida del pin digital “RELAY” conectado a la tarjeta de desarrollo se conecta una resistencia de 330 Ohms para así poder activar el relevador.

Dado que la salida de la tarjeta es de 3.3V y en cada unión Base-Emisor del transistor 2N2222A existe una caída de 0.7V obtenemos que la corriente que sale del pin y entra a la base del transistor 1 es:

$$I_{B1} = \frac{3.3v - 0.7v - 0.7v}{330\text{ohms}}$$

$$I_{B1} = \frac{1.9v}{330\text{ohms}}$$

$$I_{B1} = 5.7\text{mA}$$

El mínimo hfe mostrado en la hoja de datos del transistor 2N2222A es de 30, por ende podemos sacar la corriente que el primer transistor puede saturar con la corriente salida del pin de la tarjeta de desarrollo.

$$I_{C1} = I_{B1} * hfe$$

$$I_{C1} = 5.7\text{mA} * 30$$

$$I_{C1} = 171\text{mA}$$

Es por esto que en el colector se pueden saturar un máximo de 171mA, dado que la conexión a este transistor es de 5V se optó por situar una resistencia de 100 Ohm en el colector del primer transistor, teniendo en cuenta esto la corriente de colector es de:

$$I_{C1} = \frac{5v - 0.7v}{100ohm}$$

$$I_{C1} = 43mA$$

Con ello confirmamos que la corriente que atravesará el colector será completamente saturada, dado que 43mA es mucho menor que 171mA. Dejando esto en claro, procedemos a calcular la corriente que podrá ser saturada por el segundo transistor, dada la conexión, sabemos que:

$$I_{E1} = I_{B2}$$

$$I_{E1} = I_{B1} + I_{C1}$$

$$I_{E1} = 5.7mA + 43mA$$

$$I_{E1} = 48.7mA$$

$$I_{C2} = I_{B2} * hfe$$

$$I_{C2} = 48.7mA * 30$$

$$I_{C2} = 1461mA$$

La corriente necesaria para que el relevador encienda es calculable dividiendo el voltaje nominal sobre la resistencia de la bobina, el valor obtenido a partir de la hoja de datos de la bobina es de $28 \pm 10\%$ ohm (25 ohm para fines de cálculo). Para ello la corriente de la bobina es:

$$I_{bobina} = \frac{5v}{25ohm} = 200mA$$

Dado que la corriente de la bobina es menor que la corriente saturada en I_{C2} podemos deducir que el relevador será activado sin problemas con este arreglo.

Por último podemos observar en la Figura 27 cómo se conecta la tarjeta de desarrollo en el sistema.

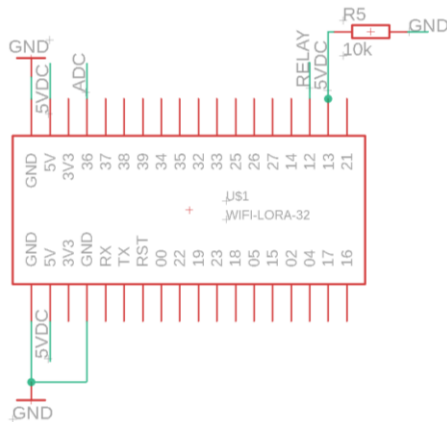


Figura 27 Conector de tarjeta de desarrollo Heltec LoRa en esquemático.
Fuente:Elaboración propia.

Como se puede observar, los pines de alimentación son activados con GND y 5VDC provenientes de la fuente de alimentación AC/DC, del lado izquierdo en el pin 36 existe un puerto de conexión al módulo ADC proveniente del sensor de efecto hall, por último, del lado derecho contamos con las banderas RELAY en el pin 12, encargado de activar o desactivar el relevador, y una bandera 5VDC encargada de dar lectura a la fuente de voltaje, en caso de que la fuente no se encuentre enviando la alimentación de 5V el sistema podrá detectarlo por medio de este pin. La conexión de esta tarjeta está basada en la disponibilidad de pines y adecuándonos a los pines más funcionales para cualquier acción, por ejemplo el pin 36 se usó dado que ahí existe un acceso al módulo ADC, el pin 12 fue utilizado debido a su cercanía con el relevador en la tarjeta y por último en el pin 13 fue utilizado dada su cercanía con la parte interna de la tarjeta de desarrollo, donde existían espacios libres para alojar dispositivos, en la Figura 28 se pueden observar todos los pines con que cuenta la tarjeta.

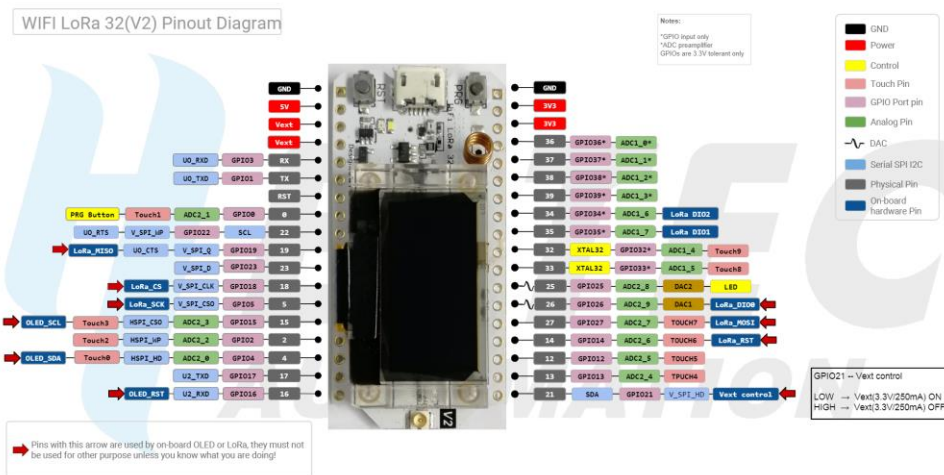


Figura 28 Pinout tarjeta Heltec LoRa v2.
Fuente:Página de internet de Heltec.

3.12.2 Tarjeta Electrónica

Tras hacer las conexiones necesarias en el software la PCB resulta como la mostrada en la Figura 29.

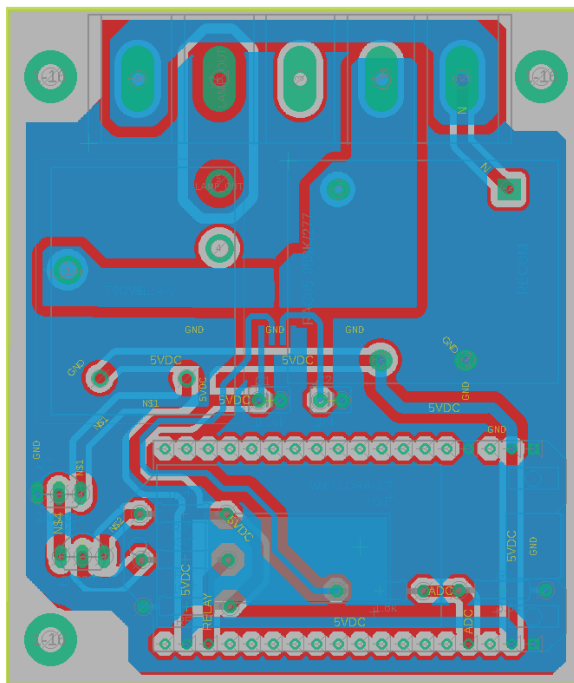


Figura 29 Capas de PCB a manufacturar
Fuente:Elaboración propia.

En esta tarjeta se unen todos los dispositivos mencionados con anterioridad para poder trabajar todo en conjunto. La tarjeta fue diseñada para ser manufacturada en 2 caras para facilitar el ruteado de la misma.

Tras haber realizado la creación de la tarjeta en el software Eagle, se realizó una exportación de los archivos Gerber para poder hacer uso de ellos con cualquier software CAM para la manufactura de la tarjeta de desarrollo. El resultado del Gerber se puede observar en la Figura 30.

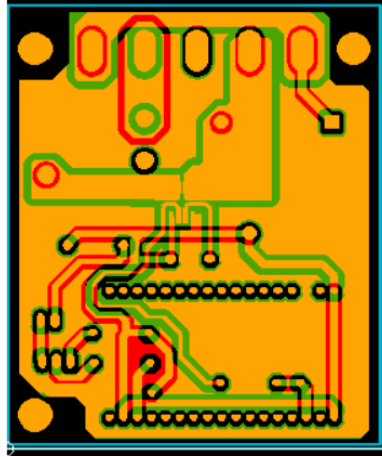


Figura 30 Vista del archivo Gerber generado en el software Eagle.
Fuente:Elaboración propia.

Tras quedar completado el archivo Gerber, se utilizó la herramienta FlatCAM para convertir el archivo Gerber en un archivo de G-Code el cual pudiese ser procesado por un CNC, para esto se hizo uso de la herramienta FlatCAM como se muestra en la Figura 31.

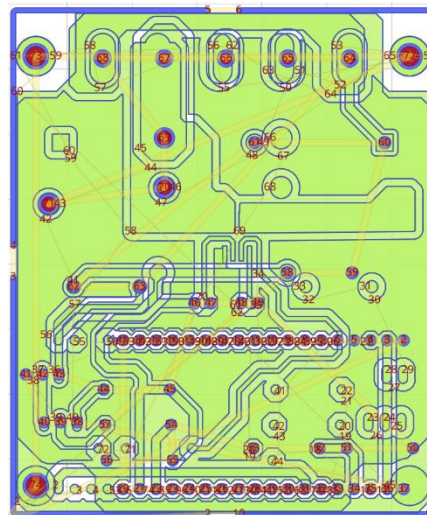
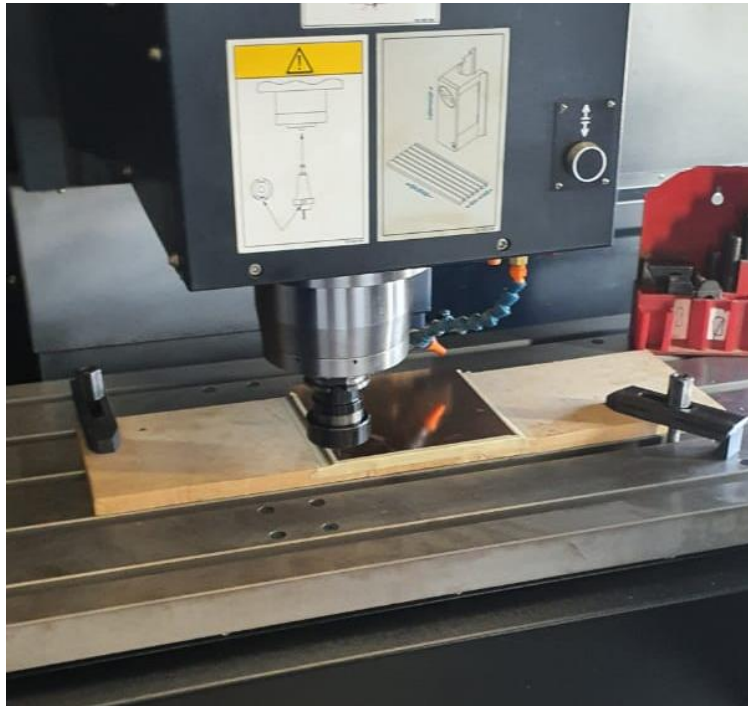


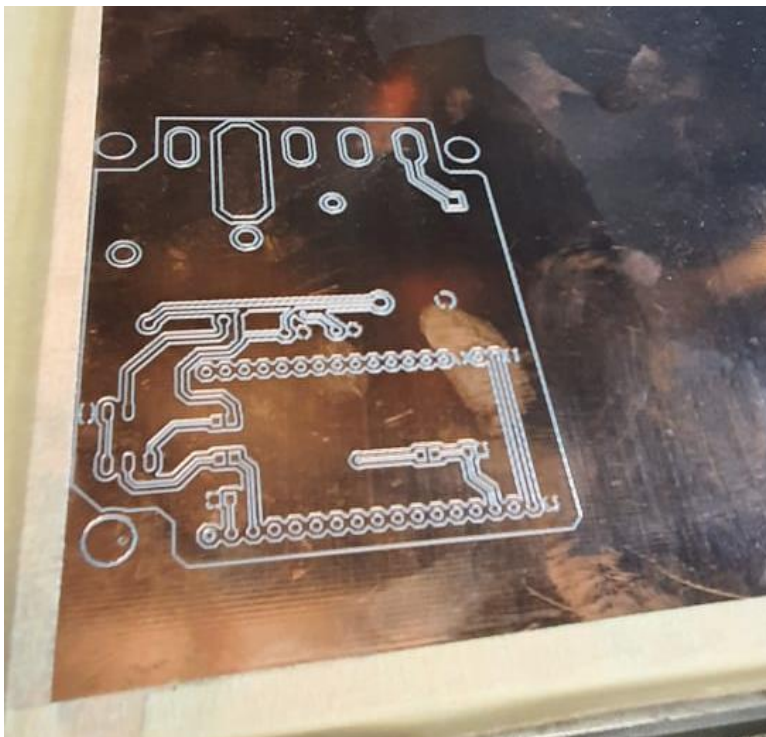
Figura 31 Software FlatCAM para generar código G.
Fuente:Elaboración propia.

Tras esto la tarjeta procedió a ser manufacturada dentro de una fresadora CNC como muestra la Figura 32.



*Figura 32 PCB manufacturada dentro de la fresadora CNC.
Fuente:Elaboración propia.*

Por último el resultado se muestra en la Figura 33.



*Figura 33 Resultado de la manufactura en CNC.
Fuente:Elaboración propia.*

3.13 Código

El código creado para realizar las funciones se basó en funciones muy simples encargadas cada una de realizar los pasos de manera lineal, para ello el lenguaje de programación es de C++ instalado en el IDE Arduino, dado que esta tarjeta es soportada por este IDE de programación. Para entender la programación se realizó el diagrama de flujo mostrado en la Figura 36 donde se muestra cómo funciona el programa.

Primeramente al iniciar el código, se comienza con la parte más simple de todo este programa, el inicializar las variables y las bibliotecas necesarias para que la tarjeta trabaje de manera correcta dentro del sistema ya desarrollado, las bibliotecas que se usaron son WiFi, IOXhop_FirebaseESP32, SPI y LoRa las cuales dan funcionamiento a los módulos de WiFi y LoRa, además de brindarnos acceso a la base de datos de Firebase para el caso del WiFi.

Al haber inicializado las bibliotecas, se procede a la inicialización de los módulos dependiendo de la comunicación que sea usada, dependiendo si es LoRa o Wifi, después de esto el relevador externo es apagado para que la luminaria funcione de manera correcta, dado que este es de contacto NC.

Al tener el relevador apagado se procede a medir el voltaje que existe en el sensor de efecto hall. Después de realizarse esto, se hace el cálculo de la corriente que fluye a través de la luminaria y se procede a calcular un promedio de lecturas por el tiempo de un segundo para así amortiguar picos de corriente que puedan fluir por la luminaria.

Al haber calculado la corriente, este la anota en la base de datos. Terminado esto, la tarjeta lee la variable Relay en la base de datos y dependiendo del valor del booleano esta apaga o enciende el relevador. Cumplido esto, por último, se realiza un análisis si la corriente se encuentra dentro del rango funcional de la luminaria siendo que si el valor no se encuentra dentro de rango, se escribe en la variable warning de la base de datos un valor de True. Después de esto ambos caminos de la condicional vuelven al punto de lectura de corriente para con realizar un bucle el cual se encargue de mantenerse funcionando por el tiempo que la tarjeta esté entendida y conectada a la red, todo este proceso se encuentra en la Figura 34.

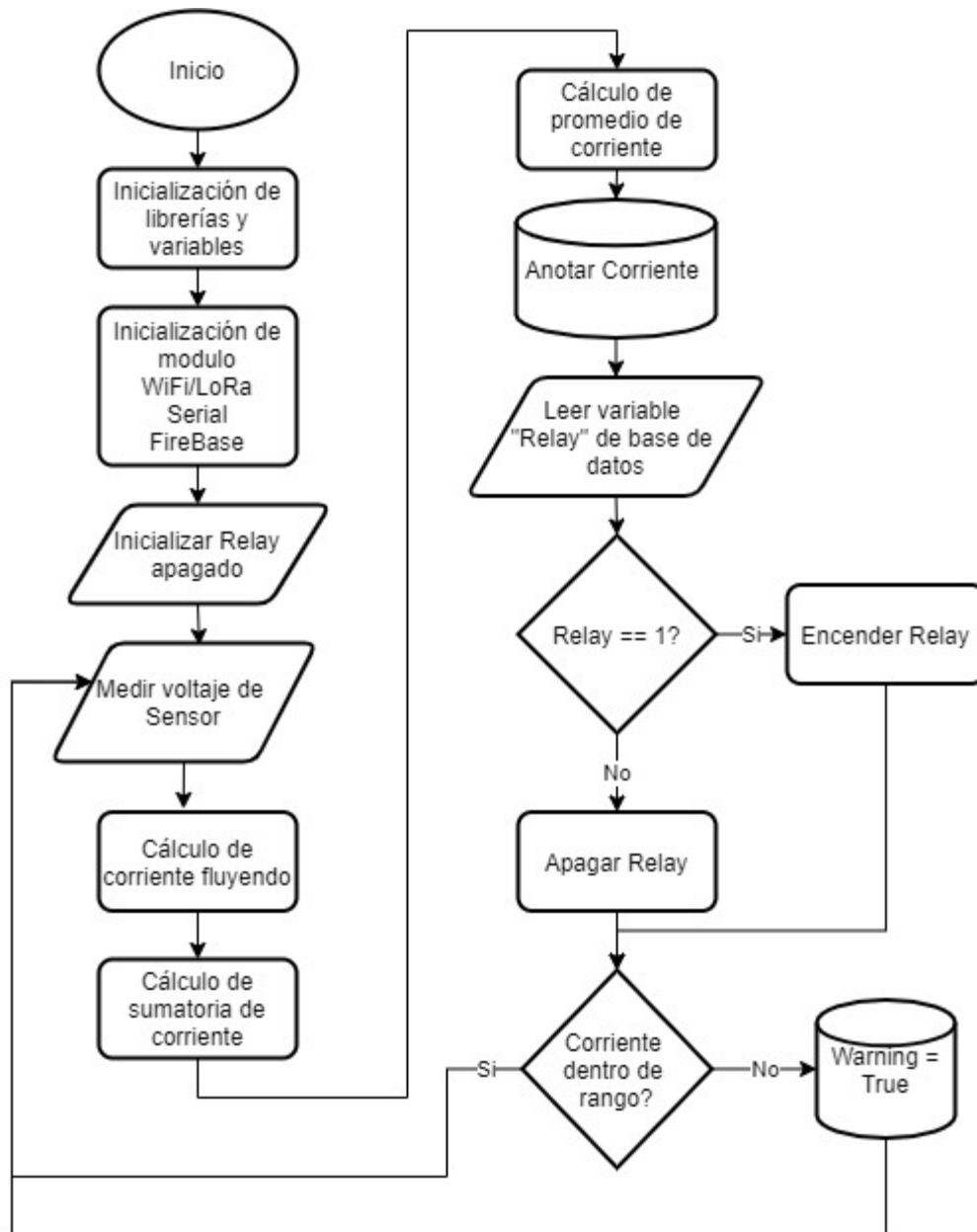


Figura 34 Diagrama de Flujo del Código.
Fuente:Elaboración propia.

El código desarrollado se encuentra en el Anexo V.



Capítulo 4

Pruebas y Resultados

Capítulo 4. Pruebas y Resultados.

4.1 Prueba de Código

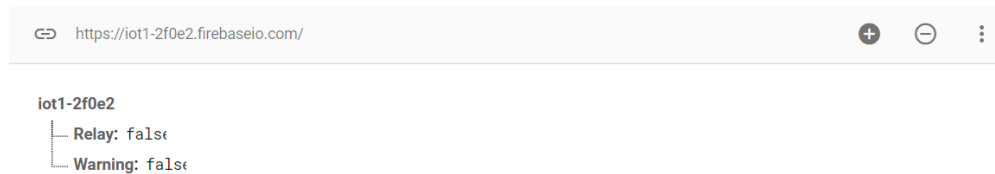
Como la metodología lo marca, lo primero es realizar la prueba del código creado para ser usado dentro de la tarjeta. Para esto primeramente se realizó la prueba por medio del protocolo serial y revisando la base de datos en firebase para confirmar que la primer parte del código funciona de manera correcta. El código a probar es la parte de inicialización de configuración tanto de red wifi como de base de datos, arrojando el mensaje de la Figura 35 en puerto serial



```
connecting..  
conexion exitosa, IP: 192.168.1.143
```

*Figura 35 Puerto serial de prueba para inicialización de variables y bibliotecas.
Fuente:Elaboración propia.*

Lo que apareció en la base de datos de firebase a partir del código anterior es lo mostrado en la Figura 36.



```
iot1-2f0e2  
{  
  "Relay": false,  
  "Warning": false  
}
```

*Figura 36 Base de datos con código de prueba de configuración de bibliotecas.
Fuente:Elaboración propia.*

A continuación de lo anterior se procedió con la prueba para constatar que la lectura se estaba realizando bien y que cuando había un exceso de corriente esta disparaba una alerta. Para ello se desconectó el módulo de efecto hall, logrando que el voltaje en el pin analógico sea 0v, por ende según la fórmula que usamos estaría leyendo una corriente de -30 amperes los cuales al aplicar el absoluto se vuelven 30 amperes positivos o 30000mA los cuales se encontrarían fuera de rango por ende deberían mandar una alerta. Los resultados se muestran en las figuras 37 y 38 de la base de datos y el puerto serial.



Figura 37 Puerto Serial de la Tarjeta para la prueba del aviso.
Fuente:Elaboración propia.

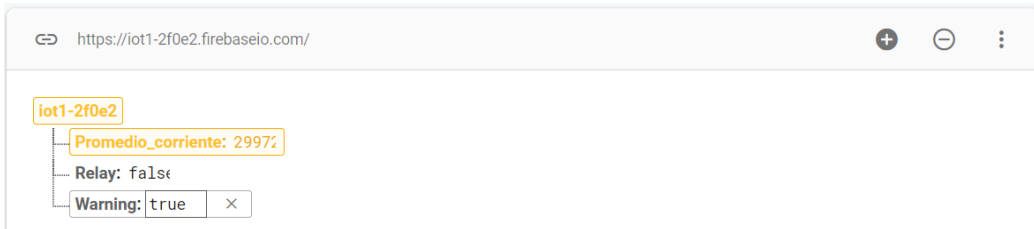


Figura 38 Warning positivo para la prueba de exceso de corriente.
Fuente:Elaboración propia.

Siguiendo la prueba se modificó la base de datos para comprobar que la tarjeta leía de manera correcta la base de datos y activaba el relevador, esto lo muestran las Figuras 39 y 40.

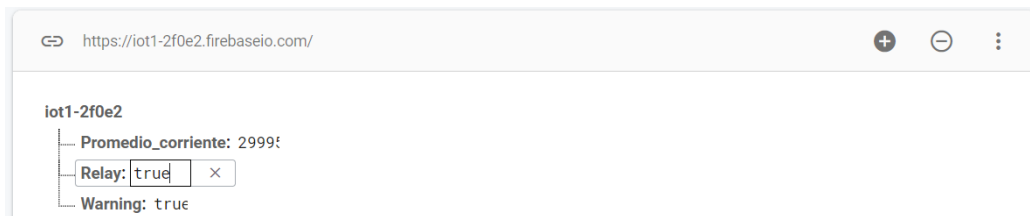


Figura 39 Modificación en base de datos para activación del relevador.
Fuente:Elaboración propia.

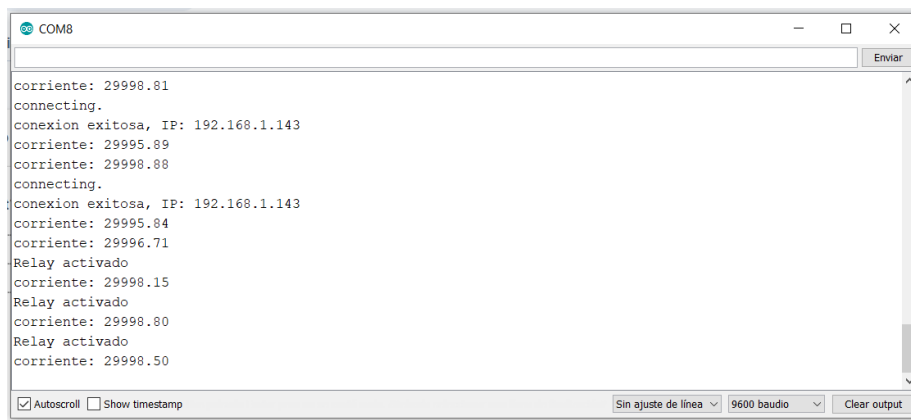


Figura 40 Activación del relevador tras modificación en base de datos.
Fuente:Elaboración propia.

Por último como muestra la Figura 41 reconectamos el módulo de efecto hall y logramos notar que, como no hay foco conectado, la corriente se mantiene en valores estables despreciables, rondando los $\pm 6\text{mA}$.

```
COM8
connecting.
conexion exitosa, IP: 192.168.1.143
corriente: 4
corriente: 4
```

Figura 41 Corriente en estado apagado.
Fuente:Elaboración propia.

Con esto damos por seguro que el código funciona de la manera esperada, y supera las pruebas pensadas para el proyecto.

4.2 Prueba de Desarrollo

Para cumplir con el desarrollo en V propuesto y verificar la manufactura del hardware se realizó la prueba básica del desarrollo la cual consiste en verificar que la tarjeta funciona de manera correcta, para esto resultó necesario revisar que las pistas de cobre tengan continuidad y que no haya puntos en los que la tarjeta se conecte en sitios donde no debería existir un contacto. La tarjeta se muestra en la Figura 42.

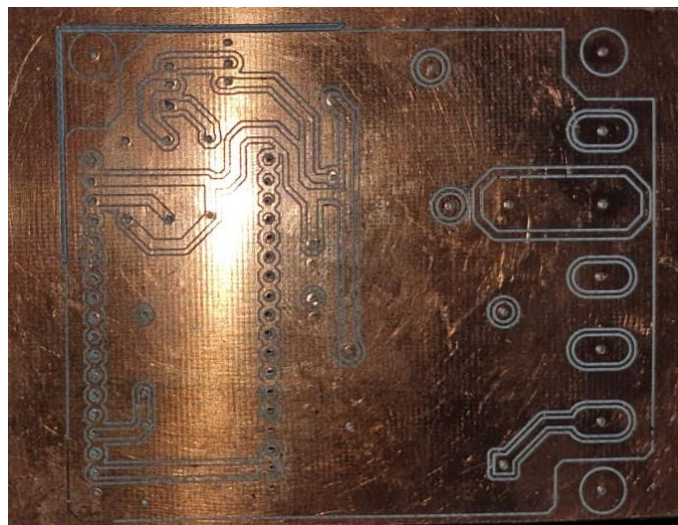


Figura 42 Tarjeta PCB.
Fuente:Elaboración propia.

Al confirmarse que no existen pistas inconclusas o que hayan entrado en contacto entre si se confirmó que la PCB se encontraba en buen estado y se procedió con la prueba de funcionamiento.

4.3 Prueba de Funcionamiento

Para realizar la prueba de funcionamiento se plantearon pruebas para cada uno de los elementos que existen en el sistema, las pruebas necesarias son:

- Prueba del sensor ACS712.
- Prueba del módulo de Relevador.
- Prueba de fuente de alimentación.
- Prueba de Tarjeta Ensamblada.

Cada uno de estos puntos resulta esencial en el funcionamiento del sistema electrónico.

4.3.1 Sensor ACS712

Para realizar la prueba del sensor se hizo uso de un módulo el cual lo incluye para que de esta manera fuese más sencillo utilizarlo y cualquier cambio necesario fuese realizado en el momento, el módulo es el mostrado en la Figura 43.



*Figura 43 Tarjeta Breakout de sensor ACS712.
Fuente:Elaboración propia.*

Al conectarse este breakout se midió la corriente que circulaba a través de un pequeño foco del hogar. Según este foco, como lo indican las Figuras 44 y 45, el consumo es de 82mA. Los resultados de leer esta corriente son arrojados en el puerto serie, como muestra la Figura 46.

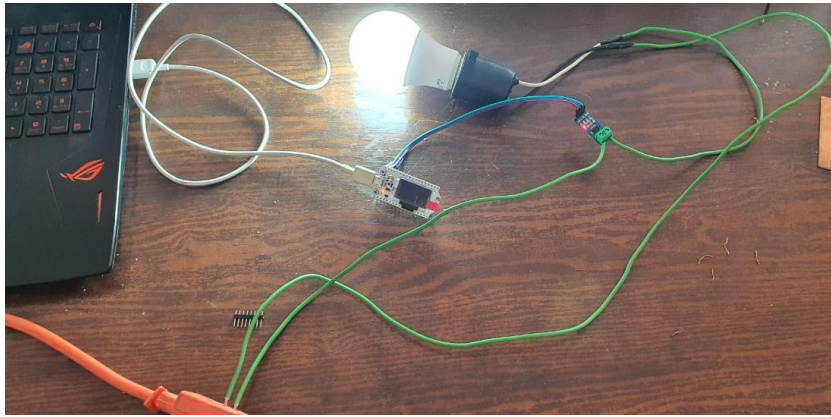


Figura 44 Módulo ACS712 conectado con el foco encendido.
Fuente:Elaboración propia.

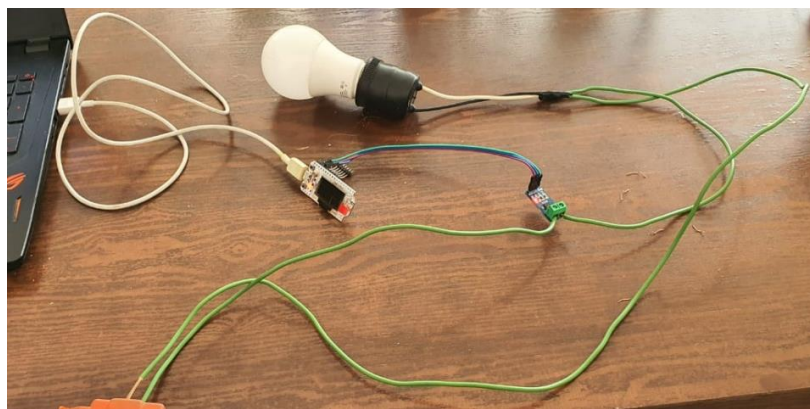


Figura 45 Módulo ACS712 conectado con el foco apagado.
Fuente:Elaboración propia.

```
COM8
connecting.
conexion exitosa, IP: 192.168.1.143
corriente: 6
corriente: 9
corriente: 3
corriente: 4
corriente: 87
corriente: 87
corriente: 78
corriente: 76
```

Figura 46 Corriente leída por la tarjeta ACS712.
Fuente:Elaboración propia.

Al obtener estos resultados, podemos denotar que el sensor se encuentra leyendo los datos de manera adecuada, puesto que la prueba arrojó valores muy cercanos a los calculados a partir de la potencia del bombillo, si bien esta no es una prueba en el entorno real de aplicación y aún no se puede asegurar su funcionamiento en la aplicación final, la prueba arroja resultados prometedores dado

que la capacidad del circuito integrado cumple con las especificaciones para funcionar con bombillas más grandes y de mayor potencia.

4.3.2 Módulo de Relevador.

Para realizar la prueba del módulo de relevador se hizo uso de otro breakout situado en serie con el sensor de efecto hall, esto para realizar la prueba de ambos en conjunto, la conexión está mostrada en las Figuras 47 y 48, esto demuestra el modo de funcionamiento del relevador cuando este se encuentra activado y desactivado. Los resultados se observan en la Figura 49 y como muestran, en los puntos en que la corriente ha bajado es porque el relevador se encuentra encendido (Dado el uso de contacto normalmente cerrado) Con esto comprobamos que el relevador funciona de la manera esperada.



*Figura 47 Modulo relevador activado.
Fuente:Elaboración propia.*



*Figura 48 Modulo de Relevador desactivado.
Fuente:Elaboración propia.*

```
COM8
connecting.
conexion exitosa, IP: 192.168.1.143
corriente: 78
corriente: 75
corriente: 76
Relay activado
corriente: 9
Relay activado
corriente: 3
Relay activado
corriente: 4
Relay activado
corriente: 7
corriente: 77
corriente: 73
corriente: 86
```

Autoscroll Show timestamp Sin ajuste de línea 9600 baudio Clear output

Figura 49 Resultados de conectar el módulo del Relevador.
Fuente:Elaboración propia.

4.3.3 Fuente de alimentación.

Para realizar la prueba de la fuente de alimentación se aplicó un voltaje de corriente alterna de 110VAC a los bornes de N y L para que esta a la salida entregue 5VDC, la prueba de funcionamiento con su salida puede apreciarse en la Figura 50.

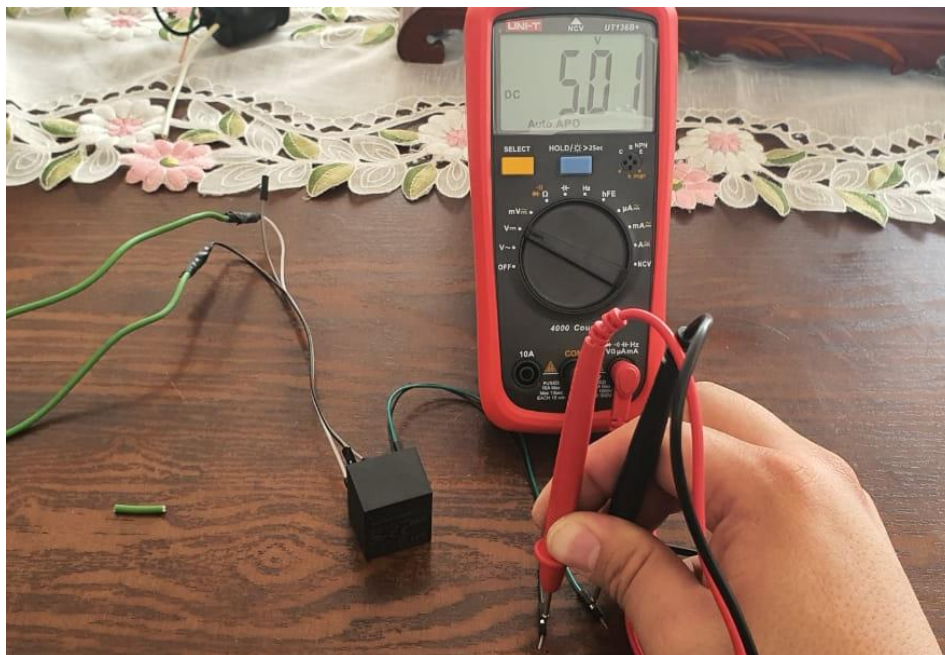
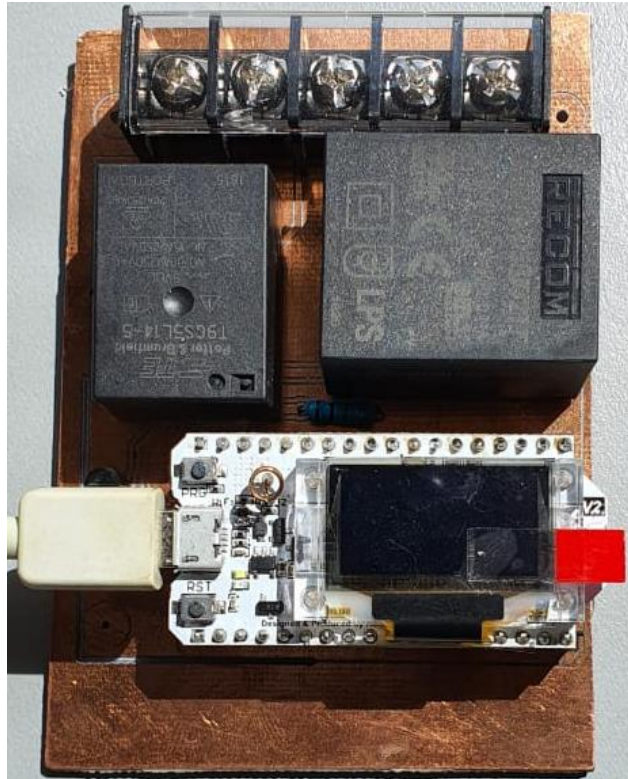


Figura 50 Prueba de fuente de alimentación.
Fuente:Elaboración propia.

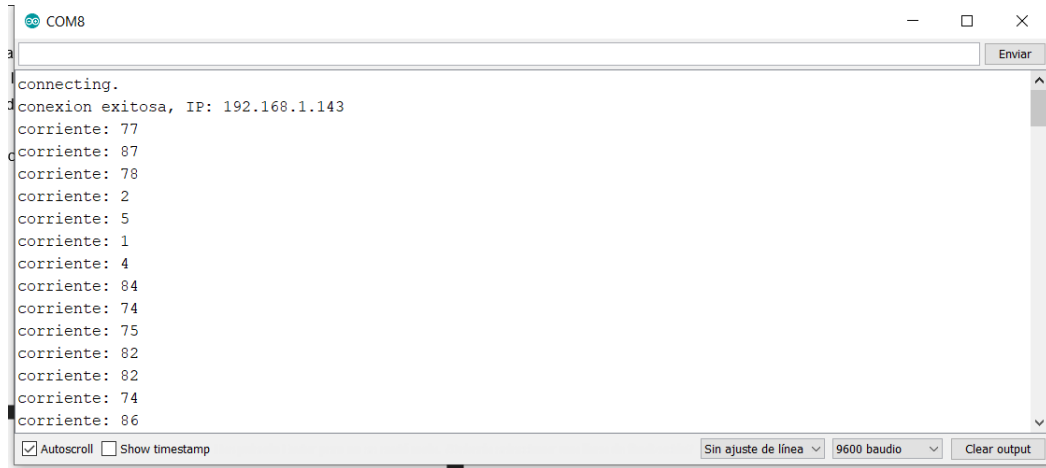
4.3.4 Tarjeta Ensamblada.

Las pruebas de la tarjeta ya ensamblada se basan específicamente en ver que los módulos anteriores funcionen de la manera esperada, en la Figura 51 se puede observar la tarjeta ya ensamblada lista para conectarse a la luminaria y a la red eléctrica de 110/220VAC. Como puede observarse la tarjeta se encuentra lado a lado con la Fuente de voltaje, así como el relevador encargado de hacer el cambio de estado.



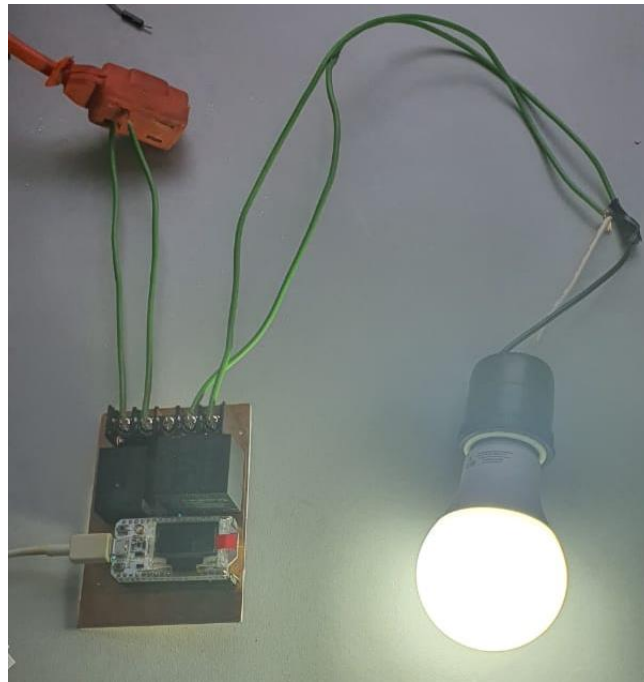
*Figura 51 Tarjeta ensamblada conectada.
Fuente:Elaboración propia.*

Al enchufarse la tarjeta a 110 VAC la tarjeta enciende y comienza a leer la corriente que fluye a través de la luminaria, para después subir los datos a la base de datos en Firebase. En la Figura 52 pueden observarse los resultados de la tarjeta conectada por medio del puerto USB a la computadora



*Figura 52 Información del puerto serie.
Fuente:Elaboración propia.*

En las Figuras 53 y 54 pueden apreciarse los distintos estados de la luminaria, los cuales pueden ser encendida y apagada por relevador de esta manera vemos como el sistema reaccionará.



*Figura 53 Tarjeta con luminaria encendida.
Fuente:Elaboración propia.*

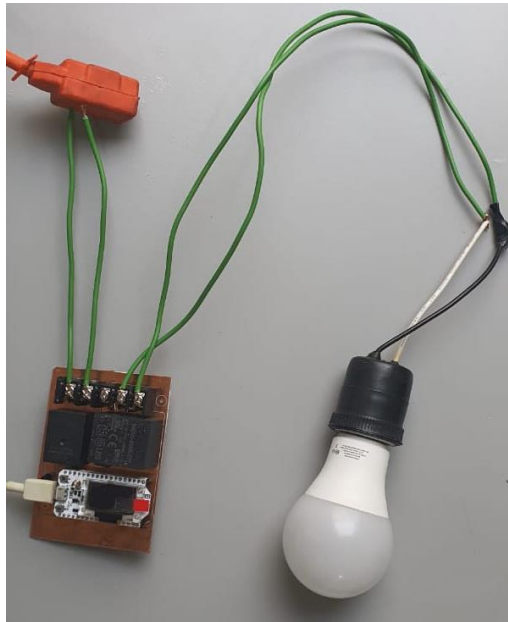


Figura 54 Tarjeta con luminaria apagada.
Fuente:Elaboración propia.

En la Figura 55 y 56 pueden verse los datos de las imágenes anteriores obtenidos de la base de datos y el puerto serie.

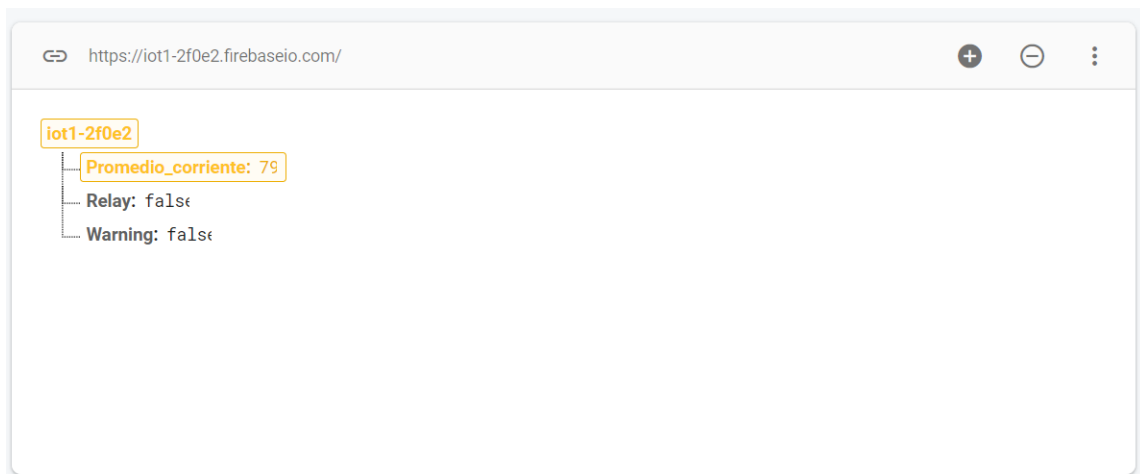


Figura 55 Datos de la base de datos.
Fuente:Elaboración propia.



*Figura 56 Datos del puerto serie.
Fuente:Elaboración propia.*

Por último, se creó una app muy sencilla para celular en la cual pueden apreciarse los valores de la corriente que fluye por la luminaria, así como del estado de alarma si la luminaria se encuentra fuera de rangos, y del estado actual del relevador, la aplicación fue realizada en programación de bloques en MIT app inventor. La Figura 57 muestra una captura de pantalla de la aplicación en funcionamiento.



*Figura 57 Aplicación de lectura de corriente.
Fuente:Elaboración propia.*

En la Figura 58 se encuentra el código utilizado para que esta aplicación funcionase de la manera correcta.

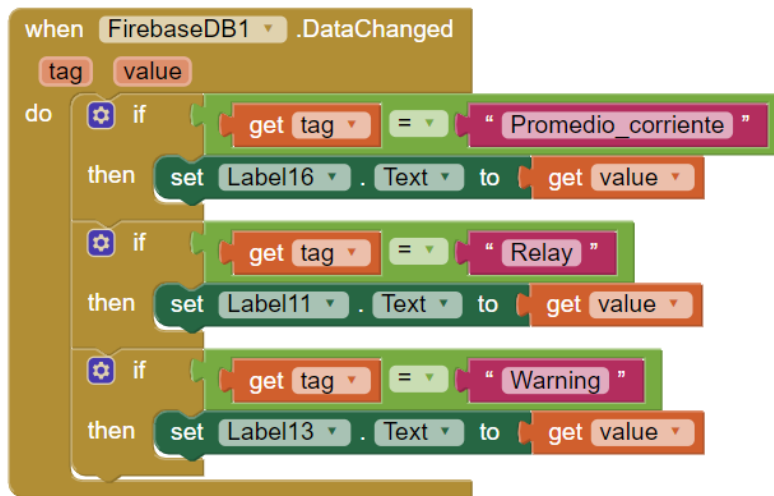


Figura 58 Código de bloques MIT app inventor.
Fuente:Elaboración propia.

4.4 Prueba de Especificaciones

La prueba de especificaciones se basará en el cumplimiento de todos los requerimientos establecidos al inicio del desarrollo.

4.4.1 Requerimientos de Usuario.

- **RU01- Prototipado Rápido:** El tiempo total de desarrollo de este prototipo fue de 4 meses tomando en cuenta los tiempos de desarrollo, envío, ensamblaje y pruebas, por ende damos por cubierto este requerimiento.
- **RU02- Instalación en infraestructura existente:** Debido a que el prototipo aún no ha sido probado en campo y a pesar que arroja resultados positivos y que puede adecuarse a las luminarias que se encuentran instaladas en la mayor parte del país realizando un cambio de modelo del sensor de efecto hall tomando en cuenta las tendencias a futuro de las luminarias LED este punto queda pendiente de revisión puesto que aún no puede aseverarse el funcionamiento en campo del dispositivo.
- **RU03 – Costo:** El costo total de este dispositivo es el mostrado en la Cuadro 16, donde se desglosa el costo unitario de cada elemento necesario para el desarrollo en MXN, este requerimiento se toma por completado dado que su costo es bajo en comparación con las tarjetas de desarrollo de LoRa sin monitoreo de luminarias que

existen en el mercado, además a diferencia de los monitores de la marca InteliLIGHT el prototipo cuenta con la capacidad de ampliarse a distintos protocolos de comunicación dependiendo de la distancia.

ID	Elemento	Cantidad	Costo
1	Tarjeta Heltec LoRa WiFi v2	1	\$340
2	Sensor de efecto hall allegro ACS712	1	\$106.07
3	Fuente de voltaje RAC05-05SK/277	1	\$315.62
4	Relevador T9GS5L14-5	1	\$64.89
5	Resistencias variadas	5	\$11.93
6	Transistor 2N2222A	2	\$14.00
7	Capacitores	2	\$12.00
8	PCB	1	\$10.00
		Total	\$874.51 MXN

Cuadro 16 Costos.

Fuente:Elaboración propia.

4.4.2 Requerimientos Funcionales.

- **RF01 – Medición de corriente:** Dado que el sistema cumple con la medición de corriente gracias al sensor de efecto hall ACS712 este requerimiento queda cubierto según demuestran las Figuras 51 y 52.
- **RF02 – Análisis del comportamiento de la corriente:** Dado que el sistema es capaz de analizar el comportamiento de la corriente y lo compara gracias al promedio de las mediciones en 1 segundo y la comparación entre los rangos funcionales de cada luminaria, por ende este punto se encuentra cubierto.
- **RF03 – Envío de datos a larga distancia:** Dado que el sistema cuenta con los protocolos WiFi y LoRa, podemos indicar que el requerimiento resulta cubierto y cambiando las bibliotecas utilizadas en el código, así como cambiando la antena que viene de fabrica por una de mayor tamaño se podrían alcanzar mayores distancias.
- **RF04 – Recepción de datos:** Puesto que la tarjeta puede recibir datos desde la base de datos y aplicarlos en su entorno, como lo demuestran las Figuras 34 y 35.
- **RF05 – Apagado Remoto de Luminarias:** Este requerimiento resulta cubierto al poder interpretar la información tomada de la base de datos y aplicarla al entorno de la tarjeta. Como se muestra en las Figuras 52, 53 y 54.

4.4.3 Requerimientos No Funcionales.

- **RNF01 – Alimentación:** Como se comentó en el punto 3.4.3, la fuente es capaz de soportar voltajes de 110 y 220 VAC dependiendo de la luminaria a la que este sea conectado, por ende el requerimiento es cumplido sin problemáticas.
- **RNF02 – Entorno de Instalación del Módulo:** Al no haberse podido realizar las pruebas del prototipo en campo de aplicación este punto queda pendiente de revisión, sin embargo según las hojas de datos de los dispositivos utilizados en este desarrollo, la temperatura de trabajo máxima que soportan los módulos es de al menos 90°C, por ende existe la posibilidad de arrojar resultados positivos dado que en el área de instalación del dispositivo las temperaturas no alcanzan tales niveles, sin embargo existe la planeación para realizar la prueba en temporadas de altas temperaturas con las luminarias encendidas para de este modo cubrir el peor entorno posible.
- **RNF03 – Señal de Medición:** Este requerimiento depende meramente de la red eléctrica, por ende no se puede asegurar que sea cubierto por el sistema en cuestión.
- **RNF04 – Instalación:** Dada que la instalación es muy simple, no cuesta trabajo el poder realizarla, más que hacer la conexión de los tornillos, por ende este punto queda resuelto, además de otorgar capacitación para las personas que hagan uso del sistema.
- **RNF05 – Manipulación del módulo:** Este requerimiento va de la mano del uso que se le dé dentro de la luminaria, por ende no depende totalmente del equipo de desarrollo.
- **RNF06 – Manejo de Datos:** La memoria del dispositivo es suficiente para almacenar la información generada en un día de trabajo en caso de que la comunicación resulte dañada. Momentáneamente el prototipo muestra los resultados y la función será añadida a futuro por lo que este requerimiento queda pendiente para el momento en que el código haya sido cambiado.



Capítulo 5

Impacto Social y Económico

Capítulo 5. Impacto Social y Económico

5.1 Impacto Social

Actualmente existen zonas afectadas por la inseguridad en las cuales la infraestructura lumínica no es la adecuada, permitiendo actividades ilícitas. Al dar pronto aviso de luminarias dañadas para su restablecimiento y al dar pronta atención a ello al departamento pertinente, la cantidad de actividades ilícitas cometidas en el área con pobre iluminación podrían ser reducidas, puesto que la presencia de personas con esta intención resulta más clara para los transeúntes o la fuerza policiaca [16][20].

Haciendo análisis de los resultados otorgados por la tesis doctoral *Influencia del Alumbrado Público sobre la Seguridad y la Conducta*, según la encuesta planteada en el documento, las personas se sienten en un estado de mayor comodidad cuando la iluminación existe de manera funcional y aún más cuando esta iluminación es de mayor intensidad. El proyecto que se manejó en las páginas anteriores resulta ser de utilidad para mejorar la situación de existencia funcional que ocurre hoy en día en el país.

5.2 Impacto Económico

El impacto económico resulta en la reducción de costos al aumentar el tiempo de vida de las luminarias por medio de la desactivación en periodos innecesarios de funcionamiento, así como en la reducción de consumo de energía eléctrica.

Puesto que las luminarias de vapor sódico cuentan con una vida útil de 8000 horas continuas, durando encendidas 11 horas al día se obtiene

$$\text{dias de vida} = \frac{\text{Horas de vida}}{11\text{hrs}/\text{dia}}$$

$$\text{dias de vida} = \frac{8000 \text{ hrs}}{11\text{hrs}/\text{dia}} = 727.27 \text{ dias}$$

Dado lo anterior, el sistema y tomando el ejemplo para 1 hora al día en tiempos muertos debidos a posible cambio de horario o problemáticas que existan dentro del tablero de control de luminarias, por ende los días de vida de la luminaria aumentan de la siguiente manera

$$\text{dias de vida} = \frac{8000 \text{ hrs}}{10 \text{ hrs/dia}} = 800 \text{ dias}$$

Demostrando así un aumento de vida útil de aproximadamente 73 días útiles de funcionamiento, lo cual es una enorme reducción de costos al aumentar de esta manera las luminarias ya existentes.

Aunado a lo anterior, el consumo eléctrico puede ser reducido de igual manera una hora al día. El consumo eléctrico de un dispositivo es calculado en kWh (kilowatt hora) el cual es obtenido a partir de la fórmula:

$$kWh = \frac{\text{Consumo del dispositivo (Watts)} * \text{Tiempo de uso constante (Horas)}}{1000}$$

Si consideramos una lampara de 200 W que se ahorra una hora al día del funcionamiento.

$$kWh = \frac{200W * 1 \text{ hr}}{1000} = 0.2kWh$$

Por ende este valor de 0.2kWh puede ser multiplicado por la cantidad de luminarias en las que sea instalado para así obtener el ahorro total de energía eléctrica del dispositivo. Según reportes de la CONUEE, México cuenta con un potencial de ahorro de energía eléctrica considerado en 2.5 millones de megawatt por hora (MWh). Por ende este proyecto puede ayudar a cubrir un porcentaje de esta energía eléctrica la cual es desperdiciada en factores como tipo de luminaria y tiempo muerto encendida.



Conclusiones



Conclusiones

El proyecto se encuentra en la etapa de prototipo, con los cálculos realizados en este documento y las pruebas en un entorno controlado demostraron que el prototipo tiene resultados positivos acorde a lo esperado, sin embargo aún falta la realización de pruebas y final instalación en campo.

Los puntos que fueron probados como lo es la medición de la corriente que fluye por el cable, la alimentación de la tarjeta, el funcionamiento de la red inalámbrica así como la activación/desactivación remota arrojaron resultados positivos .

Al día de hoy las pruebas de manejo de temperaturas altas y del almacenamiento de información de la luminaria aún no han sido realizadas.

Lo que busca este proyecto como lo es la disminución de actividades ilícitas en entornos donde existe infraestructura instalada por el gobierno no puede ser algo que sea medible solamente por medio de pruebas, dado que si bien esto es un factor, existen muchas variables que afectan al resultado, como el tiempo de reacción y la zona. Por ende hasta no realizar pruebas en campo se podrá demostrar si el dispositivo realmente disminuye la problemática.

El trabajo a futuro recae justamente en la realización de pruebas en el entorno real para poder encontrar las problemáticas y resolverlas adaptando el dispositivo por medio de Software o Hardware justo como lo marca la metodología utilizada en este documento.

Se planea también la mejora de la adquisición de datos guardando la información generada por las lámparas en un día de trabajo en que el gateway se encuentre desconectado en la memoria flash para posteriormente subirla a la base de datos. Al realizar esto y contar con una base de datos de cómo se comportaba la luminaria antes de fallar o descomponerse, así como de los posibles cortes de energía eléctrica, para con esta información poder predecir el comportamiento de la luminaria y dar aviso . Otro elemento del trabajo a futuro es el poder modificar el hardware para que tenga ubicación geográfica y poder encontrar de manera más rápida el fallo, además de añadir un segundo sensor de efecto hall para confirmar la medición del dispositivo por medio de la redundancia.

Bibliografía

- [1] A. M. Hurtado Gonzales, *Influencia del alumbrado público sobre la seguridad y la conducta*. Universidad de Granada. Tesis Doctorales., 2015.
- [2] O. Khutsoane, B. Isong, and A. M. Abu-Mahfouz, "IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN," *Proc. IECON 2017 - 43rd Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, vol. 2017-Janua, pp. 6107–6112, 2017, doi: 10.1109/IECON.2017.8217061.
- [3] G. Dozio, A. Rivero, A. Bernaschina, D. Rivola, V. Medici, and G. Montu, "HAC: Hardware design for a Smart-Home and Smart-Grid decentralised load management system," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. 2015-Septe, pp. 699–704, 2015, doi: 10.1109/ISIE.2015.7281554.
- [4] Himadri Nath Saha¹ *et al.*, "IoT Solutions for Smart Cities," pp. 74–80, 2017, [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org.dcu.idm.oclc.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8079565>.
- [5] S. Tuohy, M. Glavin, C. Hughes, E. Jones, M. Trivedi, and L. Kilmartin, "Intra-Vehicle Networks : A Review," pp. 1–12, 2014.
- [6] B. K. Barman, S. N. Yadav, S. Kumar, and S. Gope, "Energy Utilization in Smart Grid," *2018 2nd Int. Conf. Power, Energy Environ. Towar. Smart Technol.*, pp. 1–5, 2018.
- [7] R. Dagar, S. Som, and S. K. Khatri, "Smart Farming - IoT in Agriculture," *Proc. Int. Conf. Inven. Res. Comput. Appl. ICIRCA 2018*, no. Icirca, pp. 1052–1056, 2018, doi: 10.1109/ICIRCA.2018.8597264.
- [8] R. F. A. M. Nor, F. H. K. Zaman, and S. Mubdi, "Smart traffic light for congestion monitoring using LoRaWAN," *2017 IEEE 8th Control Syst. Grad. Res. Colloquium, ICSGRC 2017 - Proc.*, no. August, pp. 132–137, 2017, doi: 10.1109/ICSGRC.2017.8070582.
- [9] D. Magrin, M. Centenaro, and L. Vangelista, "Performance evaluation of LoRa networks in a smart city scenario," *IEEE Int. Conf. Commun.*, 2017, doi: 10.1109/ICC.2017.7996384.
- [10] H. N. Saha, N. F. Raun, and M. Saha, "Monitoring patient's health with smart ambulance system using Internet of Things (IOTs)," *2017 8th Ind. Autom. Electromechanical Eng. Conf. IEMECON 2017*, pp. 91–95, 2017, doi: 10.1109/IEMECON.2017.8079568.
- [11] J. Ueki, Y. Nakamura, H. Okada, Y. Horii, and J. Mori, "Development of vehicular-collision avoidance support system by inter-vehicle communications - VCASS," pp. 2940–2945, 2005, doi: 10.1109/vetecs.2004.1391463.
- [12] S. Sagir, I. Kaya, C. Sisman, Y. Baltaci, and S. Unal, "Evaluation of Low-Power Long Distance Radio Communication in Urban Areas: LoRa and Impact of Spreading Factor," *Proc. - 2019 7th Int. Conf. Digit. Inf. Process. Commun. ICDIPC 2019*, pp. 68–71, 2019, doi: 10.1109/ICDIPC.2019.8723666.
- [13] S. Atkins, S. Husain, and A. Storey, "THE INFLUENCE OF STREET LIGHTING ON CRIME AND FEAR OF CRIME," Londres, 1, 1991.
- [14] D. Montolio, "The effects of local infrastructure investment on crime," *Labour Econ.*, vol. 52, pp. 210–230, 2018, doi: 10.1016/j.labeco.2018.02.006.
- [15] K. Painter, "The influence of street lighting improvements on crime, fear and

- pedestrian street use, after dark,” *Landsc. Urban Plan.*, vol. 35, no. 2–3, pp. 193–201, 1996, doi: 10.1016/0169-2046(96)00311-8.
- [16] K. P. D. P. Farrington, “Crime Reducing Effect of Improved Street Lighting: The Dudley Project,” 1997. <https://www.crimesolutions.gov/ProgramDetails.aspx?ID=84> (accessed Jul. 10, 2020).
- [17] O. de Buen R., H. F. Ledezma Aguirre, G. Zarate Gutierrez, A. Gutierrez Clairin, J. Benitez Luna, and M. Pani, “Alumbrado Público, Eficiencia Energetica y la Ciudad Inteligente: Hacia el Proyecto Nacional 2.0,” Ciudad de México, México, 2019. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/459089/cuaderno4nvociclocorreJLTOdB.pdf>.
- [18] EfiMarket, “vapor_sodico,” *Web Page*. <https://www.efimarket.com/blog/lampara-de-vapor-de-sodio-de-alta-presion/> (accessed Mar. 23, 2021).
- [19] R. Muhendra and Y. H. Arzi, “Development of street lights controller using wifi mesh network,” *Proceeding 2017 Int. Conf. Smart Cities, Autom. Intell. Comput. Syst. ICON-SONICS 2017*, vol. 2018-January, pp. 105–109, 2017, doi: 10.1109/ICON-SONICS.2017.8267830.
- [20] P. Makumbe, D. K. Weyl, A. Eil, and J. Li, “PROVEN DELIVERY MODELS FOR LED PUBLIC LIGHTING. Synthesis of Six Case Studies,” p. 30, 2016, [Online]. Available: <https://goo.gl/mXEbdf>.
- [21] M. Lauridsen, H. Nguyen, B. Vejlggaard, I. Z. Kovacs, P. Mogensen, and M. Sorensen, “Coverage Comparison of GPRS, NB-IoT, LoRa, and SigFox in a 7800 km Area,” *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2017-June, pp. 2–6, 2017, doi: 10.1109/VTCSpring.2017.8108182.
- [22] J. Mathew, R. Rajan, and R. Varghese, “IOT BASED STREET LIGHT MONITORING & CONTROL WITH LoRa / LoRaWAN NETWORK,” pp. 1173–1177, 2019.
- [23] Y. Sarr, B. Gueye, and C. Sarr, “Performance analysis of a smart street lighting application using LoRa wan,” *Proc. - 2019 Int. Conf. Adv. Commun. Technol. Networking, CommNet 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/COMMNET.2019.8742356.
- [24] R. Barry and J. P. Meijers, “IoT connectivity comparison (GSM vs LoRa vs Sigfox vs NB-lot) With the growing options for connectivity,” 2020. <https://www.polymorph.co.za/iot-connectivity-comparison-gsm-vs-lora-vs-sigfox-vs-nb-iot/> (accessed Jun. 03, 2020).
- [25] S. U. N. Mesh, S. Lighting, R. Management, and S. C. Platform, “Wi - SUN MESH STREET LIGHTING REMOTE MANAGEMENT FRE - 220 - NEMA - WS Wi - SUN MESH LUMINAIRE Wi - SUN MESH,” pp. 1–2, 2020.
- [26] S. Lighting, R. Management, and S. C. Platform, “STREET LIGHTING REMOTE MANAGEMENT FRCMv4 - L - LoRaWAN™ compatible LIGHTING PANEL CONTROL and,” pp. 1–2, 2020.
- [27] S. C. Platform, N. C. Lighting, P. Control, and M. Unit, “NB - IoT STREET LIGHTING REMOTE MANAGEMENT NB - IoT STREET LIGHTING REMOTE MANAGEMENT,” pp. 1–2, 2020.
- [28] S. Lighting, R. Management, and S. C. Platform, “LTE - M compatible STREET

LIGHTING REMOTE MANAGEMENT FRCMv4 - M1 – LTE - M compatible LIGHTING PANEL CONTROL & STREET LIGHTING REMOTE MANAGEMENT,” pp. 1–2, 2020.

- [29] S. Lighting, R. Management, and S. C. Platform, “Sigfox compatible STREET LIGHTING REMOTE MANAGEMENT FRE - 220 - M - S embedded Sigfox COMPATIBLE LUMINAIRE CONTROLLER Upgrade your lamps for smart control and monitoring Sigfox compatible STREET LIGHTING REMOTE MANAGEMENT,” pp. 1–2, 2020.
- [30] Efor, “Tecnologías de comunicación para IoT.,” pp. 1–5, 2016, [Online]. Available: <https://www.efor.es/sites/default/files/tecnologias-de-comunicacion-para-iot.pdf>.
- [31] A. Pötsch and F. Haslhofer, “Practical limitations for deployment of LoRa gateways,” *2017 IEEE Int. Work. Meas. Networking, M N 2017 - Proc.*, 2017, doi: 10.1109/IWMN.2017.8078360.
- [32] A. Odriguez and H. MArta, “Diseño De Un Sensor De Temperatura lot Para La Red Lora,” pp. 1–29, 2017.
- [33] A. Systems, “tabla sensores hall.” <https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/zero-to-fifty-amp-integrated-conductor-sensor-ics> (accessed Mar. 31, 2020).



Anexos



Anexos

Anexo I

En este anexo se pueden observar los datos más importantes de la tarjeta Heltec LoRa v2.

source	parameter			
MCU	ESP32(240MHz Tensilica LX6 dual-core + 1 ULP, 600 DMIPS, 520KB SRAM, Wi-Fi, dual mode Bluetooth)			
LoRa chip	SX1276 (868 and 915 version); SX1278 (433 and 470 version)			
LoRa bands	EU_433, CN_470_510, EU_863_870, US_902_928 four bands optional			
LoRa maximum output power	18dB ± 2dB			
Hardware resources	UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; I2S x 1			
	12 – bits ADC; 8 – bits DAC			
	29 general GPIO			
Display	0.96 inch 128*64 OLED display			
FLASH	8MB(64M-bits) SPI FLASH			
interface	Micro USB x 1; LoRa antenna interface(IPEX) x 1			
Size	50.2 x 25.5 x 9.74 mm			
USB to UART Bridge	CP2102			
Battery Type	3.7V Lithium (SH1.25 x 2)			
Battery detection circuit	√			
External device power control (Vext)	√			
Low power design	Deep Sleep 800uA			
Electrical characteristics	condition	Minimum	Typical	Maximum
Power Supply	USB powered (≥500mA)	4.7V	5V	6V
	Lithium powered (≥250mA)	3.3V	3.7V	4.2V
	3.3V (pin) powered (≥150mA)	2.7V	3.3V	3.5V
	5V (pin) powered (≥500mA)	4.7V	5V	6V
Power consumption(mA)	WiFi scan		115mA	
	WiFi AP		135mA	
	LoRa 10dB emission		50mA	
	LoRa 12dB emission		60mA	
	LoRa 15dB emission		110mA	
	LoRa 20dB emission		130mA	
Output	3.3V pin output			500mA
	5V pin output (USB powered only)		Equal to the input current	
	External device power control (Vext 3.3V)			350mA

Anexo II

En este anexo se observan los diferentes circuitos integrados fabricados por la marca allegro systems, los cuales incluyen un sensor de efecto hall para medir corriente.

GENERIC PART NUMBER	DESCRIPTION	APPLICATION	VCC (V)	TYPE	CURRENT MEASUREMENT RANGE (A)	TEMP. RANGES	BANDWIDTH (KHZ)	ISOLATION VOLTAGE (VRMS)	PACKAGE TYPE	PRIMARY CONDUCTOR RESISTANCE (MOHMS)
▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼
		FILTER ▼	FILTER ▼	FILTER ▼	FILTER ▼	FILTER ▼	FILTER ▼	FILTER ▼	FILTER ▼	
ACS712	Linear Current Sensor IC with 2.1 kV Isolation	Industrial	5	Bidirectional	<±10, ±20, ±30	-40°C to 85°C	80	2100	SOIC	1.20
ACS730	1 MHz BW, Isolated Current Sensor IC	Industrial	5	Bidirectional	±20, ±40, >±50	-40°C to 125°C	1000	2100	SOIC	1.20
ACS722LC	High Accuracy, Isolated Current Sensor IC	Industrial	3.3	Bidirectional, Unidirectional	<±10, ±20, ±40, 10, 20, 40	-40°C to 150°C	80, 20	2400	SOIC	0.65
ACS723LC	High Accuracy, Isolated Current Sensor IC	Industrial	5	Bidirectional, Unidirectional	<±10, ±20, ±40, 10, 20, 40	-40°C to 150°C	80, 20	2400	SOIC	0.65
ACS710	High-Voltage Isolation Current Sensor IC with Integrated Overcurrent Detection	Industrial	5	Bidirectional	<±10, ±20, ±40, >±50	-40°C to 125°C	120	3600	SOIC	1.00
ACS716	High Voltage Isolation Current Sensor with Integrated Overcurrent Detection	Industrial	3.3	Bidirectional	<±10, ±20, ±30, >±50	-40°C to 125°C	120	3600	SOIC	1.00
ACS720	High Accuracy, Dual Overcurrent Faults, CM field rejection, Isolated Current Sensor IC	Industrial	5	Bidirectional	±15, ±35, >±50	-40°C to 125°C	120	3600	SOIC	1.00
ACS717	Linear Current Sensor IC with 4.8kV Isolation	Industrial	3.3	Bidirectional	<±10, ±20	-40°C to 125°C	40	4800	SOIC	0.85
ACS718	Linear Current Sensor IC with 4.8kV Isolation	Industrial	5	Bidirectional	<±10, ±20	-40°C to 125°C	40	4800	SOIC	0.85
ACS722MA	High Accuracy Current Sensor IC with 4.8kV Isolation	Industrial	3.3	Bidirectional	<±10, ±20, ±40	-40°C to 125°C	80, 20	4800	SOIC	0.85

Anexo III


En este anexo se muestra parte de la hoja de datos del módulo conversor de voltaje utilizado en este desarrollo.

Features

- Wide input range 85-305VAC
- Standby mode optimized (eco design Lot 6)
- High efficiency over the entire load range

Regulated Converter

- Operating temperature range: -40°C to +90°C
- Overvoltage and overcurrent protected
- EMC compliant without external components
- Encapsulated module with pins or wired



RAC05-K/277

Description

The RAC05-K/277 series are multipurpose 5 watt AC/DC power supplies for enhanced mains input conditions from 90VAC up to 305VAC with an extra wide operating temperature range from -40°C to +90°C. These modules are designed to supply worldwide applications in automation, Industry 4.0, IoT, household and smart buildings. For worldwide use they come with international safety certifications for industrial, domestic and ITE as well as household standards. With both PCB-mount and wired packages, fully protected outputs, and EMC class B emissions compliance without any external components, these are the easiest to use modular power solutions in the industry.


Selection Guide

Part Number	Input Voltage Range [VAC]	Output Voltage [VDC]	Output Current [mA]	Efficiency typ ⁽¹⁾ [%]	Max. Capacitive Load ⁽²⁾ [µF]
RAC05-3.3SK/277	85-305	3.3	1510	77	10000
RAC05-05SK/277	85-305	5	1000	80	8000
RAC05-12SK/277	85-305	12	416	83	1500
RAC05-15SK/277	85-305	15	330	83	1000
RAC05-24SK/277	85-305	24	210	84	330


Notes:

Note1: Efficiency is tested at nominal input and full load at +25°C ambient

Note2: Max Cap Load is tested at nominal input and full resistive load



5 Watt Single Output




Anexo IV


En este anexo se muestra parte de la hoja de datos del relevador utilizado en el desarrollo del dispositivo.

T9G series, DC coil 30A PCB Relay

- **30A switching in NO and 20A in CO**
- **Minimum Board space (29mm x 21.5mm)**
- **Meets UL 508 for clearance / creepage**
- **Meets IEC 61810-1 for reinforced insulation**
- **Option for load connections via 0.250" (6.3mm) quick connect terminals**
- **4kV dielectric withstand and 8kV surge voltage between coil & contacts**
- **UL approved for 480 VAC switching**



Typical applications
HVAC, Appliances, Industrial Controls, Energy Management



Contact Data			Contact ratings ¹⁾ (continued)			Coil Data					
Contact arrangement	1 form A (NO), 1 form B (NC), 1 form C (CO)		Type	Load	Cycles	Coil voltage range	5 to 110VDC				
Rated voltage	250VAC		CO	20A, 250VAC, Resistive	15x10 ³	Max. coil power	110% of nominal				
Max. switching voltage	480VAC		CO	20A / 10A, 240VAC, Resistive	100x10 ³	Max. coil temperature	155°C				
Rated current	30A	20A	CO	30A / 15A Resistive, 250VAC	20x10 ³	Coil insulation system according UL	Class F				
Contact material	AgSnO		CO	30A FLA / 80A LRA (N.O.); 12A FLA, 30A LRA (N.C.) 250VAC, Definite Purpose	30x10 ³	Coil versions, DC coil					
Min. recommended contact load	1A, 12VAC/VDC		CO	80A LRA / 10A FLA (N.O.); 33A LRA / 10A FLA (N.C.) 250VAC, Definite Purpose	30x10 ³	Coil code	Rated voltage VDC	Operate voltage VDC	Release voltage VDC	Coil resistance Ω±10%	Rated coil power mW
Initial contact resistance	300mΩ at 100mA/6VDC		IEC 61810-1			5	5	3.75	0.5	28	900
Frequency of operation, with/without load	360 cycles / hour = with 3600 cycles / hour = without		Type	Load	Cycles	9	9	6.75	0.9	90	900
Operate/release time max., including bounce	15/22ms		NO	30A, 250VAC, Resistive, 85°C (PCB)	75x10 ³	12	12	9	1.2	160	900
UL 508			NO	20A, 250VAC, Resistive, 70°C (QC), 85°C (PCB)	100x10 ³	15	15	11.25	1.5	249	900
Type	Load	Cycles	NO	17A, 250VAC, Resistive, 105°C	100x10 ³	18	18	13.5	1.8	360	900
NO	5A, 480VAC, General Purpose	6x10 ³	NO	20A, 250VAC, Resistive, 85°C	100x10 ³	22	22	16.5	2.2	538	900
NO	15.6A, 480VAC, Resistive	100x10 ³	NO	12A (12A), 250VAC, 60°C (per EN60730-1)	150x10 ³	24	24	18	2.4	640	900
NO	30A, 277VAC, General Purpose, 85°C	100x10 ³	NC	10A, 250VAC, Resistive, 60°C (C.O. type only)	50x10 ³	48	48	36	4.8	2,560	900
NO	18A, 250VAC, Resistive, 105°C	100x10 ³	CO	20A, 250VAC, Resistive, 60°C (N.C.)	10x10 ³	110	110	82.5	11	13,444	900
NO	22A, 250VAC, Resistive	250x10 ³	CO	20A/10A, 250VAC, Resistive, 60°C (N.O.)	50x10 ³	All figures are given for coil without preenergization, at ambient temperature +23°C.					
NO	22A FLA, 98A LRA, 120VAC, Definite Purpose	100x10 ³	CO	12A, 250VAC, Resistive, 85°C	100x10 ³						
NO	14A FLA, 82A LRA, 250VAC, Definite Purpose, 70°C	30x10 ³	¹⁾ Contact ratings at 40°C (unless otherwise noted) with relay properly vented. Remove vent nib after soldering and cleaning.								
NO	20A, 277VAC, Standard Ballast	6x10 ³	IEC 61810-1								
NO	1HP, 125VAC	100x10 ³	Type	Load	Cycles						
NC	15A, 240VAC, General Purpose	100x10 ³	NO	30A, 250VAC, Resistive, 85°C (PCB)	75x10 ³						
NC	20A, 250VAC, Resistive (CO type only)	20x10 ³	NO	20A, 250VAC, Resistive, 70°C (QC), 85°C (PCB)	100x10 ³						
NC	30A LRA / 12A FLA, 250VAC, Definite Purpose	30x10 ³	NO	17A, 250VAC, Resistive, 105°C	100x10 ³						
NC	1HP, 277VAC (CO type only)	50x10 ³	NO	20A, 250VAC, Resistive, 85°C	100x10 ³						
			UL 508								
			Type								
			Load								
			Cycles								
			30A, 250VAC, Resistive, 85°C (PCB)								
			20A, 250VAC, Resistive, 70°C (QC), 85°C (PCB)								
			17A, 250VAC, Resistive, 105°C								
			20A, 250VAC, Resistive, 85°C								
			12A (12A), 250VAC, 60°C (per EN60730-1)								
			10A, 250VAC, Resistive, 60°C (C.O. type only)								
			20A, 250VAC, Resistive, 60°C (N.C.)								
			20A/10A, 250VAC, Resistive, 60°C (N.O.)								
			12A, 250VAC, Resistive, 85°C								
			Mechanical endurance			10x10 ⁶ ops.					

Anexo V

En este anexo puede observarse el código que fue incluido dentro de la memoria flash del microcontrolador.

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include <IOXhop_FirebaseESP32.h>
```

Estas variables son utilizadas para configurar la conexión de WiFi y la conexión a la base de datos.

```
#define FIREBASE_HOST "iot1-2f0e2.firebaseio.com"
#define FIREBASE_AUTH "thoXbi7Fjsj8BhyVEQ6fQh6WP3yFMHR7WAkaBTZm"
#define WIFI_SSID "AndroidAP"
#define WIFI_PASSWORD "qnlf1332"
```

Aquí se configuran las variables necesarias para el funcionamiento del código

```
int corriente = 0; //Necesaria para subir el valor de corriente a firebase
int pin_Analogico=36; //Usada para configurar el pin analógico en el puerto 36
bool valor_relay = LOW;//Usada para el valor del relevador
int pin_Fuente=13; //Usada para el valor dl pin de la fuente
```

El void setup, donde se cargan todas las configuraciones es el siguiente:

```
void setup() {
  //Inicializa el pin del Relay como salida y la fuente como entrada
  pinMode(pin_Relay,OUTPUT);
  pinMode(pin_Fuente,INPUT);
  //Inicia el puerto serial a 9600 Baudios
  Serial.begin(9600);
  //Inicia el hardware de Wifi y conecta con el SSID
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  //Imprime el intento de conexión
  Serial.print("connecting");
  //Demuestra el estado del wifi mientras conecta
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
  }
  //Al realizarse la conexión indica que fue exitosa e imprime la IP
  Serial.println();
  Serial.print("conexión exitosa, IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  //Inicializa la conexión con la base de datos en Firebase
```

```

    Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
    //Apaga el Relay y el warning
    Firebase.setBool("Relay",false);
    Firebase.setBool("Warning",false);
}

```

El código para el void loop el cual se encontrará ciclando durante el tiempo total del funcionamiento se muestra a continuación:

```

void loop() {
    //Realiza la lectura de la corriente
    corriente= medir_corriente();
    //Escribe el promedio de la corriente
    Firebase.setInt("Promedio_corriente", corriente);
    // En caso de que la subida del sistema falle, lo muestra en el puerto serial
    if (Firebase.failed()) {
        Serial.print("setting /number failed:");
        Serial.println(Firebase.error());
        return;
    }
    //Da lectura al valor Relay en la base de datos y dependiendo del valor enciende o
    apaga el relevador
    if(Firebase.getBool("Relay")){
        digitalWrite(pin_Relay,HIGH);
        Serial.println("Relay activado ");
    }//Activa la alarma en caso de que la corriente este fuera de cierto rango
    if(40>corriente || corriente>1500){
        Firebase.setBool("Warning",true);}
}

```

La función de medir_corriente es la encargada de realizar el promedio de la corriente consumida por la luminaria y devolver el valor en un formato entero.

```

int medir_corriente() {

```

```

//Setea las variables de corriente, voltaje y sumatoria de corriente a 0
int corriente = 0;
int voltaje=0;
double sumatoria_corrientes=0;
//realiza mil escaneos de la corriente que está siendo consumida en un segundo
for(int i=0;i<1000;i++){
//Da lectura al voltaje del pin Analógico
    voltaje=analogRead(pin_Analogico);
//Se establece un mapeo de la variable dado que el sensor va de +-30000mA
//El pin ADC puede leer una capacidad de 12 bits
    corriente=map(voltaje,0,4095,-30000,30000);
//se suma el absoluto de la corriente a la sumatoria y espera 1mS
    corriente=abs(corriente);
    sumatoria_corrientes=sumatoria_corrientes+corriente;
    delay(1); }
//Se realiza el promedio dado a que fueron mil muestras
    sumatoria_corrientes=sumatoria_corrientes/1000;
//imprime la corriente en mA
    Serial.print("corriente: ");
    Serial.println(sumatoria_corrientes);
//Devuelve el valor de la sumatoria
    return sumatoria_corrientes;}

```

Anexo VI

En este anexo podemos observar el esquemático completo usado para la manufactura de la tarjeta que se mostró en el documento. En él se notan las diferentes áreas utilizadas para cada uno de los componentes que forman la tarjeta.

El esquemático es el mostrado en la Figura 54.

