

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

Control autónomo e inalámbrico de luminarias
led para eventos

Autor:

- Milton Pozzo

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico*

en la

Facultad Regional Paraná

Noviembre 2019

Declaración de autoría:

Yo declaro que el Proyecto Final “Control autónomo e inalámbrico de luminarias led para eventos” y el trabajo realizado es propio. Declaro:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Milton Pozzo

Fecha: noviembre 2019

Agradecimientos:

En el cierre de esta etapa, quiero agradecer en especial, a todas las personas que conforman mi querida facultad regional. Todas contribuyeron a mi formación tanto en lo profesional como en lo personal.

A mis padres, porque sin su apoyo y soporte a lo largo de los años, este logro no hubiese sido posible. Así también, a familiares y amigos por las palabras de aliento y motivación que me permitieron siempre seguir adelante.

Y, por último, y no por esto menos importante, a mi compañera de vida, por compartir y recorrer junto a mí esta experiencia académica, soportando mi tiempo limitado y brindándome su sostén en los momentos difíciles.

Milton Pozzo

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

Control autónomo e inalámbrico de luminarias led para eventos

Milton Pozzo

Abstract:

Seeking to cover the need from a micro-enterprise dedicated to event decoration, a system was designed, developed and implemented to control, from a single mobile device, LED luminaires, so that these as a whole are better integrated into the environment of the decorated event.

For this purpose, a WIFI protocol network was used, to which the system elements are connected through the use of ESP8266 Esp-01 modules and 8-bit PIC microcontrollers. The system is divided into three blocks: Luminaires, Central, which can dominate the system and sensing the environment autonomously, and a graphical configuration interface that runs on Windows. In addition, DSP technology is used to analyze ambient music, which is adopted as an integration variable.

With all this, a first version of a wireless controller was obtained that allows the luminaires to be managed and monitored as a whole, both autonomously and with user intervention.

Keywords:

Decoration – Music – Party – Smart – Synchronization

Resumen:

Buscando cubrir la necesidad proveniente de un microemprendimiento dedicado a la decoración de eventos, se diseñó, desarrolló e implementó un sistema para controlar, desde un solo dispositivo móvil, luminarias led, de manera que éstas en su conjunto se integren de mejor manera al ambiente del evento decorado.

Para tal fin, se utilizó una red de protocolo WIFI, a la cual se conectan los elementos del sistema mediante la utilización de módulos ESP8266 Esp-01 y microcontroladores PIC de 8-bits. El sistema se encuentra dividido en tres bloques: Luminarias, Central, la cual puede dominar el sistema y sensar el ambiente de forma autónoma, y una Interfaz gráfica de configuración que corre sobre Windows. Se emplea, además, tecnología DSP para analizar la música ambiente, siendo ésta adoptada como variable de integración.

Con todo esto, se obtuvo una primera versión de un controlador inalámbrico que permite manejar y monitorear las luminarias en su conjunto, tanto de forma autónoma como con intervención del usuario.

Palabras Clave:

Decoración – Fiesta – Inteligente – Música – Sincronización

Reconocimientos:

A la Universidad Tecnológica Nacional, por permitirme realizar mis estudios de forma gratuita y brindarme las herramientas intelectuales y competencias necesarias para la realización de este proyecto de culminación de grado.

Índice

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Necesidad.....	1
1.2 Descripción de la idea	1
1.3 Elementos existentes.....	2
1.4 Proyecto desarrollado.....	2
Capítulo 2: Desarrollo	5
2.1 Descripción general	5
2.2 Bloque de Luminarias	6
2.2.1 Hardware.....	6
2.2.2 Firmware	14
2.2.3 Funcionamiento.....	15
2.3 Bloque Central.....	17
2.3.1 Hardware.....	17
2.3.2 Firmware	24
2.3.3 Funcionamiento.....	28
2.4 Bloque interfaz.....	29
2.4.1 Thread principal o GUI	30
2.4.2 Threads Socket Recibe y Socket Enviar	31
2.4.3 Thread Analizador de Datos.....	31
2.4.4 Thread Enviar Datos	32
2.4.5 Thread Control de Luminarias.....	32
2.4.6 Thread Control de Red.....	32
2.4.7 Funcionamiento.....	33
2.5 Comunicación	37
2.6 Funcionamiento general	38
Capítulo 3: Resultados.....	40
Capítulo 4: Análisis de Costos	42
4.1 Costos	42
4.2 Retorno de la inversión.....	44
Capítulo 5: Discusión y Conclusión	46
Capítulo 6: Literatura Citada.....	48

Anexo I: Cálculos de componentes	49
Anexo II: Circuitos completos	54
II.1. Luminaria.....	54
II.2. Central	54
Anexo III: Detalle de gastos	57
Anexo IV: Identificadores de trama	63
Anexo V: Comandos AT	65

Lista de Figuras

Figura 2.1: Diagrama en bloques del sistema.....	5
Figura 2.2: Diagrama en bloques del sistema.....	6
Figura 2.3: Circuito de conversión del pin MCLR a salida lógica.....	7
Figura 2.4: Doble switch analógico bidireccional.....	8
Figura 2.5: Circuito negador transistorizado.....	8
Figura 2.6: Circuito bloque de Control.....	9
Figura 2.7: Módulo ESP8266 ESP-01.....	10
Figura 2.8: Circuito asociado al módulo ESP.....	10
Figura 2.9: Circuito Alimentación de control.....	11
Figura 2.10: Bloque Alimentación de potencia.....	11
Figura 2.11: Driver de potencia.....	12
Figura 2.12: Corte de alimentación por baja batería.....	13
Figura 2.13: Diagrama de flujo – Firmware Luminaria.....	14
Figura 2.14: Estructura interna bloque Luminaria, vista superior.....	16
Figura 2.15: Estructura interna Bloque Luminaria, vista lateral.....	17
Figura 2.16: Diagrama en bloques de la Central.....	17
Figura 2.17: Circuito configuración inverting – Tensión negativa.....	18
Figura 2.18: Circuito configuración step-down – Tensión Positiva.....	18
Figura 2.19: Filtro de entrada al bloque Fuente de alimentación.....	19
Figura 2.20: Circuito alimentación módulo GSM.....	19
Figura 2.21: Circuito bloque Control.....	20
Figura 2.22: Circuito Interfaz física.....	21
Figura 2.23: Micrófono y preamplificador.....	22
Figura 2.24: Circuito de ponderación clase A.....	23
Figura 2.25: Circuito Procesamiento digital de audio.....	24
Figura 2.26: Diagrama de flujo – Firmware subbloque Control.....	25
Figura 2.27: Diagrama de flujo – Interrupciones subbloque Control.....	26
Figura 2.28: Diagrama de flujo – Firmware subbloque Analizador de sonido.....	27
Figura 2.29: Central montada.....	29
Figura 2.30: Ventana Conexión.....	33
Figura 2.31: Ventana Principal.....	34
Figura 2.32: Ventana principal con luminarias conectadas.....	35
Figura 2.33: Ventana opciones de color.....	36
Figura 2.34: Ventana Propiedades.....	37

Figura 4.1: Diagrama costos Luminarias	42
Figura 4.2: Diagrama costos Central	43
Figura 4.3: Diagrama costos Interfaz	43
Figura 4.4: Diagrama de costos del sistema completo	44
Figura 4.5: Distribución por bloques del costo total	44
Figura I.1: Forma final del filtro de entrada	52
Figura I.2: Respuesta en frecuencia del filtro de entrada.....	53
Figura I.3: Forma final del filtro de salida	53
Figura I.4: Respuesta en frecuencia del filtro de salida	53
Figura II.1: Circuito esquemático Luminaria.....	54
Figura II.2: Circuito esquemático Control-Central	54
Figura II.3: Circuito esquemático Interfaz física-Central	55
Figura II.4: Circuito esquemático Fuente-Central	55
Figura II.5: Circuito esquemático Analizador de sonido-Centra	56

Lista de Tablas

Tabla 4.1: Valores anuales de inversión y ganancia	45
Tabla 4.2: Indicadores de viabilidad de inversión.....	45
Tabla III.1: Detalle de costos bloque Luminarias.....	57
Tabla III.2: Detalle de costos bloque Central.....	58
Tabla III.3: Detalle de costos bloque Interfaz	58
Tabla III.4: Costos dispositivos electrónicos prototipo Luminaria.....	59
Tabla III.5: Costos dispositivos electrónicos Luminaria final	60
Tabla III.6: Costos dispositivos electrónicos subbloque Control-Central	60
Tabla III.7: Costos dispositivos electrónicos subbloque Analizador de sonido-Central	61
Tabla III.8: Costos dispositivos electrónicos subbloque Fuente-Central	62
Tabla IV.1: Identificadores de acciones que intercambia el sistema	63
Tabla IV.2: Ordenes internas.....	63
Tabla IV.3: Identificadores de datos	64
Tabla IV.4: Identificadores de música.....	64
Tabla IV.5: Identificadores de estado de luminaria.....	64
Tabla V.1: Comandos AT utilizados con el módulo ESP8266 Esp-1	66
Tabla V.2: Comandos AT utilizados con el módulo SIM800L	66

Lista de Abreviaciones

A/D: Analógico a digital (del inglés, Analog to Digital)

BPM: Beats por minuto (del inglés, Beats Per Minute)

CI: Circuito integrado

DMX: Digital MultipleX

DSP: Procesador digital de señales (del inglés, Digital Signal Processor)

EUSART: Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transceiver

FFT: Transformada rápida de Fourier (del inglés, Fast Fourier Transform)

GPIO: interfaz de entrada/salida de propósitos generales (del inglés, General Purpose Input/Output interface)

GSM: Sistema global para las comunicaciones móviles (del inglés, Global System for Mobile communications)

ICMP: protocolo de control de mensajes de Internet (del inglés: Internet Control Message Protocol)

ICSP: Programación serial en circuito (del inglés, In-circuit-Serial Programming)

LED: Diodo emisor de luz (del inglés, Light-Emitting Diode)

PWM: Modulación por ancho de pulso (del inglés, Pulse Width Modulation)

RF: Radio Frecuencia

RGBW: Conjunto de colores rojo, verde, azul y blanco (del inglés, Red, Green, Blue, White)

TIR: Tasa Interna de Retorno

UDP: protocolo de datagramas de usuario (del inglés, User Datagram Protocol)

USART: Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transceiver

VAN: Valor Actual Neto

Lista de Símbolos

t_{on}	Tiempo encendido del transistor	s
$t_{on(máx)}$	Tiempo máximo encendido del transistor	s
t_{off}	Tiempo apagado del transistor	s
f_{min}	Frecuencia de conmutación mínima	Hz
V_{in}	Tensión de entrada	V
$V_{in(mín)}$	Tensión mínima de entrada	V
V_{out}	Tensión de salida	V
V_{sat}	Tensión colector-emisor en saturación	V
$8 V_{ripple(V_{pp})}$	Tensión de ripple pico a pico	V
V_F	Tensión directa del diodo	V
$V_{A/D}$	Tensión de entrada al conversor analógico digital	V
C_T	Capacitor de conmutación	μF
C_o	Capacitor filtro de salida	μF
L_{min}	Inductancia de trabajo mínima	μH
$I_{pk(switch)}$	Corriente pico de conmutación	A
$I_{out(máx)}$	Corriente de salida máxima	A
R	Resistencia	Ω

Dedicado a:

Este trabajo está dedicado con todo mi cariño a mi familia y, de manera especial, a mi pareja, quienes han puesto toda su confianza para lograr un objetivo más en mi vida.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Necesidad

El proyecto desarrollado a continuación, se basa en la necesidad de actualización y mejora del servicio prestado por un microemprendimiento de alquiler de mobiliario luminoso, utilizado para decoración de eventos sociales. El mismo busca modernizar sus prestaciones integrando su mobiliario al ambiente del evento y logrando sincronizarlo al estado del mismo.

Otro requerimiento importante se encuentra en el hecho de que, al ser elementos de alquiler, el mobiliario es colocado y, en la mayoría de los casos, no se cuenta con la posibilidad de encontrarse en el lugar para operarlo durante el transcurso del evento. De este modo, el conjunto de elementos debe poseer cierto grado de autonomía para operar de acuerdo a como se desarrolle el evento en cuestión, sin la interacción de un operador. Además, se desprende de la falta de operador, la necesidad de que el sistema compruebe la presencia de cada elemento y sea capaz de avisar en el caso de detectar la faltante de alguno de ellos.

Como complemento, se plantea necesario optimizar el tiempo de puesta en marcha y configuración de los mobiliarios, de forma tal que se evite realizar esta tarea de manera física e individual y poder realizar la misma de forma conjunta desde un solo dispositivo.

1.2 Descripción de la idea

Uno de los principales elementos de un evento es la música. Su volumen y ritmo influyen en el estado de humor de las personas y, de esta manera, marca el ánimo del evento a cada instante. Por este motivo, es el aspecto elegido a tener en cuenta para lograr una buena armonía entre los elementos colocados y el estado del evento decorado.

Teniendo en cuenta esto, y las necesidades planteadas, se propone la realización de un sistema de control que maneje, de forma centralizada e inalámbrica, todos los elementos del mobiliario colocado y se adapte al ambiente del evento, analizando la música del mismo en tiempo real. Además, que cuente con una interfaz accesible y de fácil utilización, que permita configurar y manejar cada elemento.

1.3 Elementos existentes

En el mercado de la iluminación de eventos hoy en día se encuentra ampliamente utilizado el sistema DMX para el control de artefactos luminosos. Este protocolo, utilizado en su mayoría por Djs, se forma a grandes rasgos por una red de dos vías a la cual se conectan los distintos artefactos. A cada aspecto de un artefacto conectado, ya sea un color en una luminaria o un movimiento de un cabezal móvil, se le asigna una forma de identificación que el protocolo denomina como canal. Entonces, a través de la red, el dispositivo de control envía la información del total de los canales y cada artefacto toma los datos correspondientes a los canales asignados.

La conexión dispone de una versión inalámbrica a través de antenas que funcionan como transmisor y receptor. Dichas antenas permiten la comunicación de un total máximo de canales, los cuales se pueden repartir entre varios dispositivos conectados a una sola antena por medio de una conexión cableada.

Este protocolo puede cumplir con lo propuesto como solución y cuenta con la ventaja de encontrarse ampliamente difundido y probado en el ambiente en el que se utilizará el sistema planteado. Sin embargo, la gran desventaja es su costo en relación a la aplicación que se le dará al sistema, ya que, siendo necesario que cada luminaria sea inalámbrica, se requeriría una antena por mobiliario, desperdiciando gran cantidad de las características que brinda el protocolo.

Por otro lado, existen mobiliarios luminosos que disponen de conexión inalámbrica. Dicha conexión puede ser utilizando RF de corto alcance, la cual permite cambiar el color y darle efectos a la luminaria a través de un control remoto dedicado, o a través de Bluetooth, el cual permite realizar las mismas configuraciones que la anterior desde un dispositivo móvil con una aplicación dedicada. Este tipo de luminarias poseen un costo accesible, pero no permite en ningún caso su conexión en red para trabajar de manera síncrona.

1.4 Proyecto desarrollado

Considerando lo hasta aquí mencionado, en el presente trabajo se expone el desarrollo e implementación de una primera versión de un sistema de control de luminarias basado en una red inalámbrica de protocolo WIFI. Éste permite la conexión de múltiples elementos a bajo costo, debido al amplio desarrollo que existe actualmente en módulos dedicados a tal fin. A su vez, facilita que cualquier dispositivo móvil existente puede actuar de interfaz con el usuario, utilizando una aplicación adecuada.

El trabajo abarca la construcción del hardware que actuará de central de análisis del ambiente del evento y toma de decisiones, como así también, del hardware perteneciente a cada mobiliario, que permitirá conectar y controlar cada luminaria. Ambos circuitos son microcontrolados, por lo que se incluye además la descripción del firmware de cada uno. De la misma manera, el texto incluye el detalle de la aplicación que hará de interfaz con el usuario.

Capítulo 2: Desarrollo

2.1 Descripción general

El sistema desarrollado se encuentra dividido en tres grandes bloques: Luminarias, Central e Interfaz.

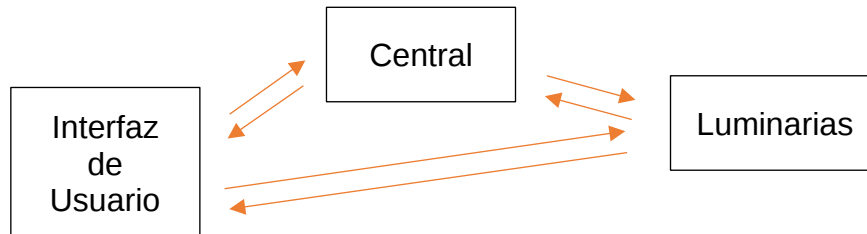


Figura 2.1: Diagrama en bloques del sistema

El bloque de Luminarias engloba todos los mobiliarios, cuyo hardware es idéntico. El mismo se conforma de un diodo LED RGBW y un circuito transistorizado controlado por microcontrolador que, además de determinar el color final del diodo led a través de modulación PWM, permite determinar el nivel de energía almacenado y tomar decisiones en virtud de éste. Posee, además, su circuito de alimentación y un elemento de almacenamiento de energía. Por último, cuenta con un circuito modular que permite la conexión del conjunto a la red WIFI del sistema.

El bloque Central es el encargado de generar y administrar la red WIFI que comunica las partes y de ejecutar las acciones solicitadas desde la interfaz de usuario. También, dispone del circuito que sensa los parámetros del entorno para determinar los cambios de color con la función audiorítmica. Por otro lado, al trabajar sin la interfaz, recolecta y registra el estado de las luminarias durante su uso.

Está formado por un router WIFI, el cual establece la red a la que se conectan todos los elementos, y por un conjunto de circuitos microcontrolados con funciones destinadas. Dispone también de un sensor de audio, junto a su circuito adaptador, y módulos de conexión WIFI y GSM. Este último, permite enviar a un lugar remoto una alarma indicando anomalías en el sistema como, por ejemplo, la faltante repentina de una luminaria.

El bloque Interfaz de Usuario se encuentra implementado mediante una aplicación gráfica de software escrita en lenguaje C++, la cual corre en una computadora o dispositivo inteligente con sistema operativo Windows y se comunica con la central a través de la red WIFI creada por esta última. En ella se configuran los parámetros de color, intensidad y

funciones de las luminarias, así como también se visualizan los niveles de batería de las mismas y su estado de conexión.

2.2 Bloque de Luminarias

2.2.1 Hardware

Para su mejor interpretación, el circuito electrónico de las luminarias puede desglosarse en los siguientes bloques.

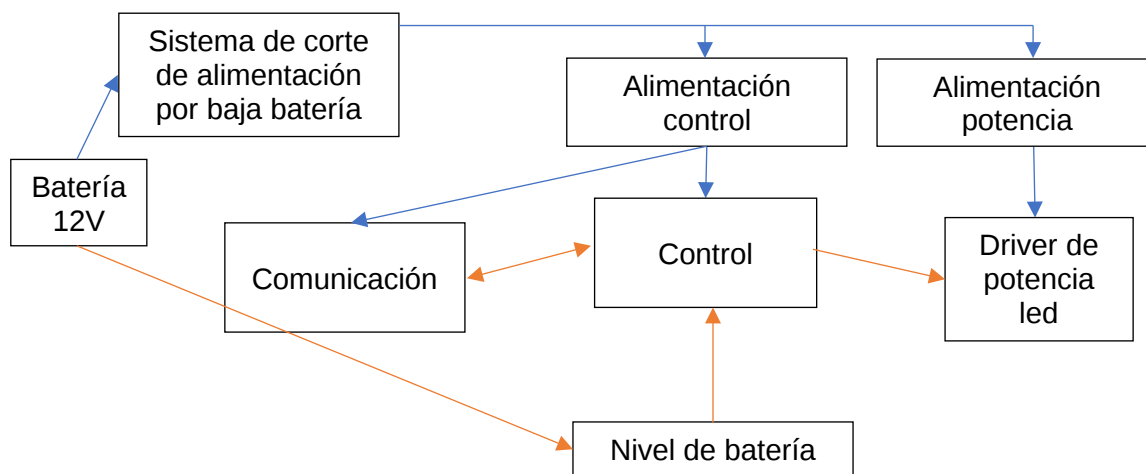


Figura 2.2: Diagrama en bloques del sistema

El bloque Control está implementado por un microcontrolador PIC12F1572. El mismo fue elegido por incorporar un periférico PWM de fácil utilización y funcionamiento independiente. Este cuenta con tres salidas independientes cuyo período y ciclo de trabajo está controlado por registros individuales de 16 bits, lo que permite generar una amplia gama de colores. Además, incorpora un módulo de comunicación EUSART, utilizado como medio de conexión de datos por el bloque Comunicación, y un convertor A/D, necesario para el control del nivel de batería existente.

Una desventaja encontrada a este microcontrolador fue su limitada cantidad de entradas-salidas disponibles. En total dispone de cinco pines que se pueden conectar a los distintos periféricos internos. De estos cinco, tres son utilizados como salidas PWM y dos para la comunicación serie. Para la aplicación eran necesarias una entrada adicional, que permita monitorear el nivel de batería, y dos salidas más, una que accione el corte de alimentación y una para accionar el canal de color blanco del led. A pesar de esto, debido a que se disponía de una amplia cantidad de stock de dicho microcontrolador por aplicaciones anteriores, se decidió utilizarlo de igual manera y encontrar solución a dicha limitante.

Mediante la utilización de circuitos externos dedicados, que permiten ampliar las funcionalidades del microcontrolador, se sobrelleva este inconveniente. La salida necesaria para accionar el corte de alimentación se logró a través del pin MCLR conectando el mismo a un transistor mosfet externo. Mediante la utilización de la resistencia PULL UP interna del microcontrolador y una resistencia externa conectada a nivel cero, se genera circulación de corriente a través del pin MCLR. Esta corriente genera una caída de tensión sobre la resistencia externa y dicha tensión activa el gate del transistor.

El circuito utilizado es el siguiente.

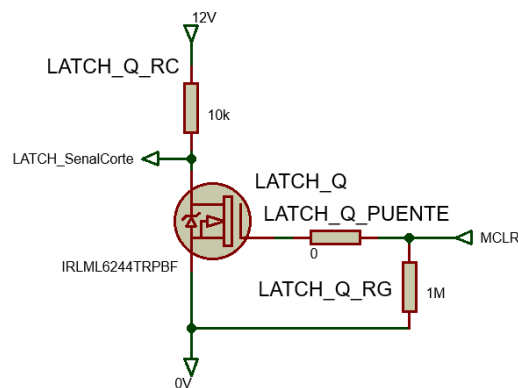


Figura 2.3: Circuito de conversión del pin MCLR a salida lógica.

Este circuito tiene como salida un nivel alto cuando la resistencia PULL UP del pin MCLR está desconectada y un nivel bajo cuando se conecta la misma internamente a la fuente de alimentación. Esta conexión y desconexión interna se controla mediante el firmware que corre en el microcontrolador.

La salida de control para el canal blanco del led utilizado se implementa a través de una de las salidas GPIO del módulo ESP8266 ESP-01 utilizado como gestor de conexión WIFI. La misma se configura y cambia de estado a través de comandos AT específicos, explicados en el Anexo V.

La entrada al convertor A/D necesario para controlar el nivel de energía almacenado coincide en el pin con la salida PWM del canal rojo del led. La función del pin puede ser modificada mediante software durante la ejecución, lo que permite que ambas funciones se alternen, pero es necesario poder aislar un circuito del otro para que no se influyan recíprocamente durante el funcionamiento. Para lograr la aislación entre ambos se utilizó el circuito integrado 74LVC2G66D el cual dispone de dos interruptores análogos bidireccionales mediante los cuales se conecta uno u otro circuito al pin del micro según se requiera. Los dos switch son accionados a la vez de forma opuesta (uno se activa y el otro

se desactiva) mediante la señal generada en la segunda salida GPIO del módulo WIFI cuyo estado se controla de la misma manera que la anterior y cambia según la acción requerida.

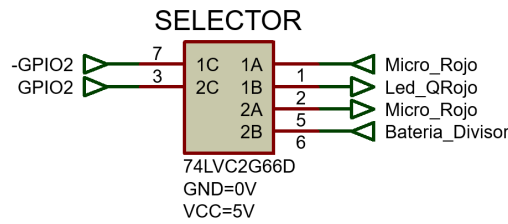


Figura 2.4: Doble switch analógico bidireccional

Para accionar ambos interruptores de manera conjunta y en estados opuestos es necesario que la señal de activación ingrese negada a uno de ellos. Para esto, se utilizó el siguiente circuito que invierte el nivel de la señal ingresada.

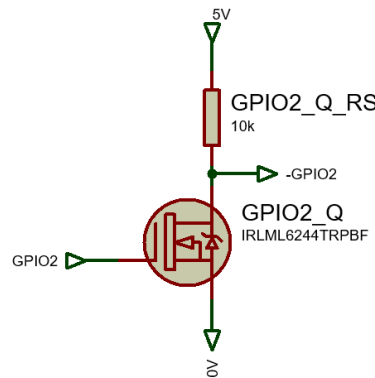


Figura 2.5: Circuito negador transistorizado

La utilización de transistores MOSFET en los circuitos expuestos se debe a la necesidad de altas impedancias en las entradas de las señales utilizadas. En el caso del pin MCLR, esto es necesario debido a que dicho pin es utilizado en la programación del microcontrolador y una baja impedancia, como por ejemplo la existente en la base de un transistor BJT, provoca fugas de corriente al momento de la programación, generando fallas en la misma. De manera similar, los pines GPIO del módulo ESP-01 son empleados para determinar, al momento de su alimentación, el modo de booteo del mismo y una impedancia baja produce inicios en modos erróneos.

El circuito del bloque de control se completa con el conector que permite la programación ICSP del microcontrolador.

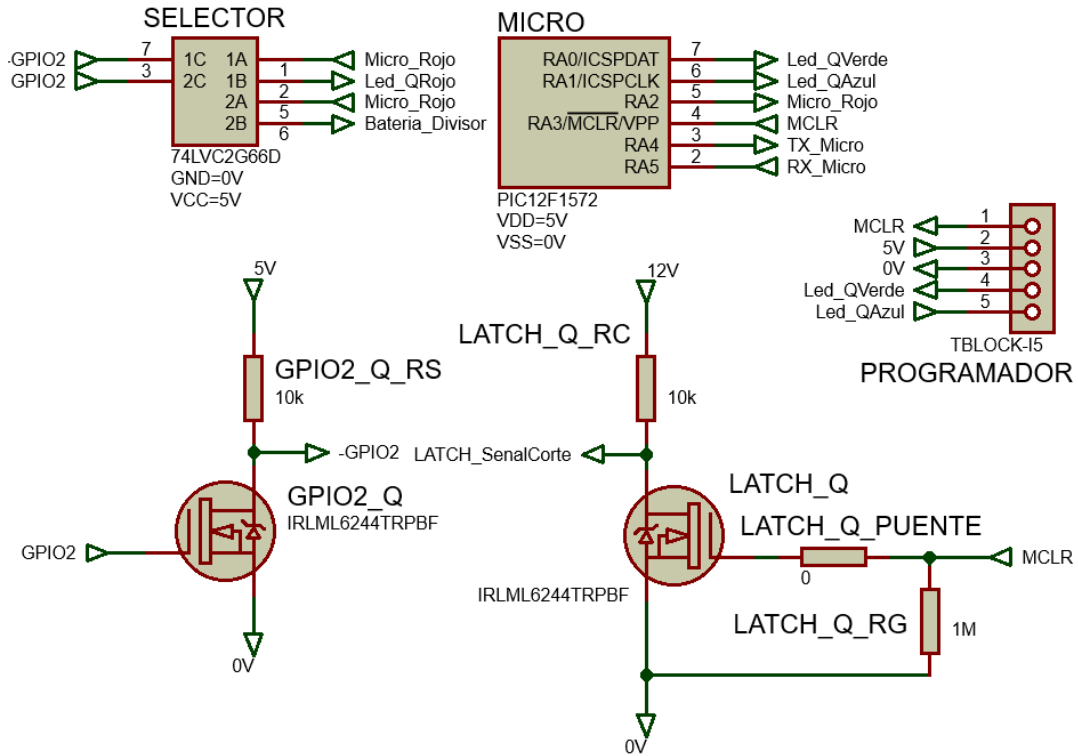


Figura 2.6: Circuito bloque de Control

El bloque Comunicación está formado por el módulo ESP8266 ESP-1. Dicho módulo está constituido por un microcontrolador ESP8266EX y su memoria de programa bg25q80a, donde reside el firmware utilizado. Para esta aplicación en cuestión, se utiliza el firmware V2.2.1, que permite comunicar el módulo WIFI con el microcontrolador a través de interfaz serie utilizando comandos AT. Como complemento, esta versión implementa las funciones necesarias para la utilización de los pines GPIO.

El ESP recibe los datos a través de su puerto serie y se encarga de encapsularlos en una trama UDP y los envía a través de su periférico WIFI. Se encarga, además, del proceso inverso, recibe datos por comunicación UDP y los envía al microcontrolador a través de puerto serie. Por otro lado, recibe las órdenes de accionar sobre los pines y actúa sobre los mismos.

El módulo dispone de 8 pines:

- GND
- GPIO2: entrada salida de propósito general.
- GPIO0: entrada salida de propósito general.
- RXD
- TXD

- CH_PD pin para apagar y encender el ESP-01: si lo ponemos a GND se apaga, y a VCC se enciende.
- RESET pin para resetear el ESP-01: si lo ponemos a GND se resetea.
- Vcc: trabaja a 3.3 V.

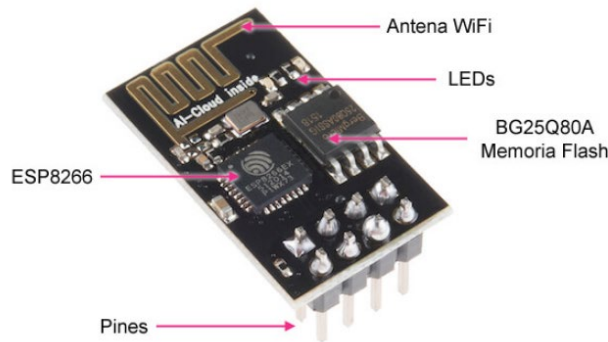


Figura 2.7: Módulo ESP8266 ESP-01

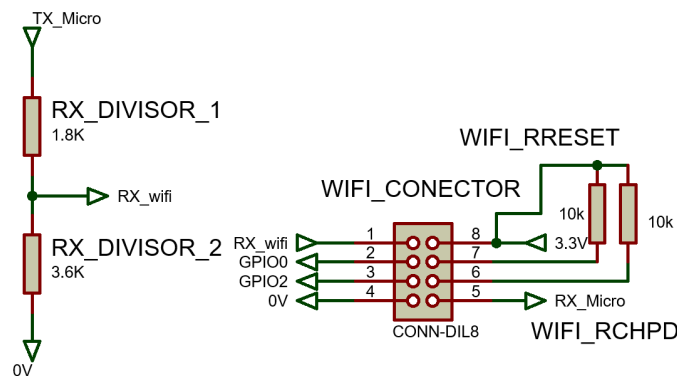


Figura 2.8: Circuito asociado al módulo ESP

Teniendo en cuenta que el bloque Control se alimenta con una tensión superior a la soportada por el módulo de comunicación, se emplea un divisor resistivo en la salida TX de la comunicación serie del microcontrolador, con el fin de adecuar los niveles con la entrada RX del módulo. De forma inversa, el microcontrolador es capaz de detectar los datos enviados desde el módulo en su entrada RX sin la necesidad de elevar la tensión.

La alimentación del circuito se realiza mediante batería de doce volts, por lo cual, se deben utilizar circuitos que adapten este valor a los utilizados por los distintos componentes. Se optó por alimentar de forma separada la parte de control y la parte de potencia.

El bloque Alimentación de control adapta los niveles a los elementos de los bloques de Control y de Comunicación. Está constituido por dos reguladores lineales. El primero de ellos es un LM7805 cuya salida de 5 volts alimenta al microcontrolador y al circuito de doble

A su vez, el valor de la bobina de salida es considerablemente mayor al calculado ya que en las pruebas realizadas al circuito, cuando la corriente llegaba a su máximo las fluctuaciones en el nivel de tensión de salida eran más elevados de lo esperado. Por el mismo motivo, el valor de las capacidades instaladas es mayor al calculado.

El Driver de potencia led está conformado por tres transistores BC337B, uno por canal, capaces de soportar 800 mA. y las tensiones manejadas. Los mismos son utilizados en corte y saturación, excitados por las señales PWM provenientes del microcontrolador. A estos se le suma un transistor MOSFET IRLML6244TRPBF para manejar el color blanco. Este último se controla con la señal proveniente del GPIO0 del módulo WIFI, como ya se mencionó anteriormente.

Además, cada canal dispone de una resistencia limitadora de corriente. El valor de la resistencia depende de cada canal debido a que los leds de los distintos colores no disponen de la misma curva de respuesta. El fabricante del led estipula una corriente directa de trabajo de 350 mA. El valor de cada resistencia se obtuvo a través de pruebas y mediciones alimentando a cada canal con una tensión fija y variando la resistencia hasta hacer circular la corriente nominal por el led. El circuito obtenido es el siguiente.

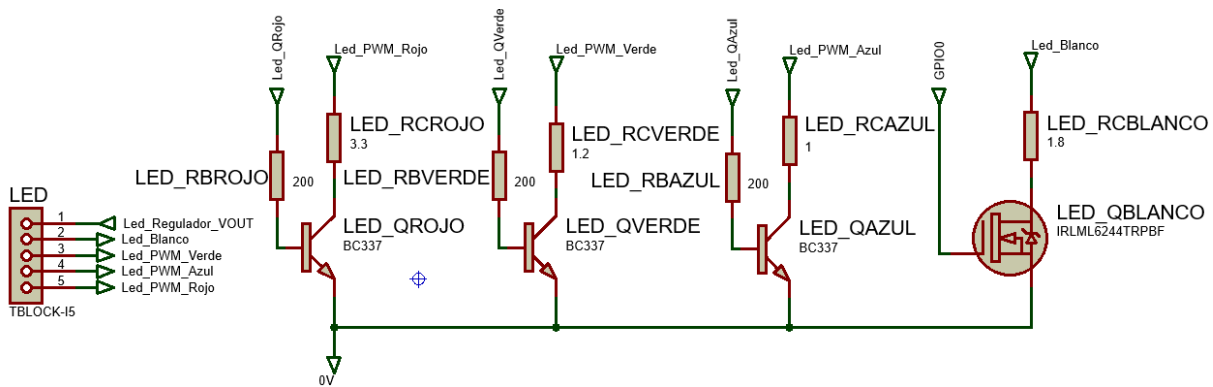


Figura 2.11: Driver de potencia

Los leds reciben en su ánodo común la salida del regulador switching y los cátodos son conectados a tierra a través del transistor correspondiente, el cual varía su ciclo de trabajo por la señal recibida en su base o gate.

El Nivel de batería se obtiene mediante un divisor resistivo que adapta el valor de tensión de la batería a los niveles aceptados por la entrada del conversor A/D del PIC12F1572. Cuando es requerido conocer el nivel presente, el doble switch conecta la señal proveniente de dicho divisor a la entrada del conversor y por software se habilita e inicia la conversión.

Una vez terminada la muestra, se conecta internamente nuevamente el pin a la salida del periférico PWM y el interruptor vuelve a conectar la base del canal rojo.

En cuanto al bloque Corte de alimentación, a grandes rasgos, es un latch set-reset implementado con compuertas NOR que abre el contacto negativo del circuito a través de un transistor MOSFET IRLML6244TRPBF cuando recibe la señal proveniente del bloque de Control. El integrado utilizado fue el CD4001 que dispone de cuatro compuertas NOR de dos entradas.

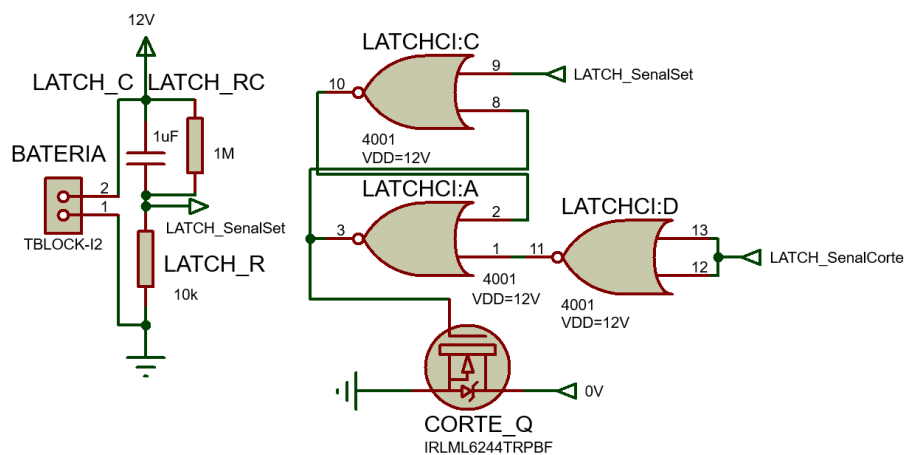


Figura 2.12: Corte de alimentación por baja batería

Al momento de conectar la batería, el conjunto LATCH_R y LATCH_C genera un pulso en la entrada de seteo del latch, lo cual pone a nivel alto la salida del circuito y activa el MOSFET conectando el resto del circuito. Esto ocurre dado que, al recibir la tensión de batería, el capacitor se encuentra descargado, por lo que la tensión en LATCH_SenalSet es 12 volts. Transcurrido el tiempo de carga del capacitor, igual a cinco veces la constante de tiempo del circuito, este alcanza una tensión aproximadamente igual a la tensión de batería y la tensión sobre el punto de señal cae a cero.

Debido a que en el microcontrolador las resistencias pull ups se encuentran desactivadas por defecto, el circuito colocado junto al pin de MCLR se encuentra a nivel alto al momento de su alimentación. Para evitar que esto no permita el funcionamiento del latch, ya que lo resetea de manera instantánea, se ha colocado una compuerta NOR en configuración NOT, para invertir este estado y asegurar el cero en la entrada reset.

Al recibir la señal de desconexión, el latch se resetea y desactiva el transistor, cortando la alimentación del resto del circuito. La misma sólo se puede restaurar desconectando la batería y conectándola nuevamente. Para esto, el cableado de la luminaria dispone de un

switch mecánico que es empleado para prender y apagar la luminaria. Al desconectarse la batería, el capacitor LATCH_C se descarga a través de la resistencia LATCH_RC para generar nuevamente el pulso de seteo al reconectar la alimentación.

2.2.2 Firmware

El firmware que gobierna el microcontrolador del circuito se estructura de la siguiente manera.

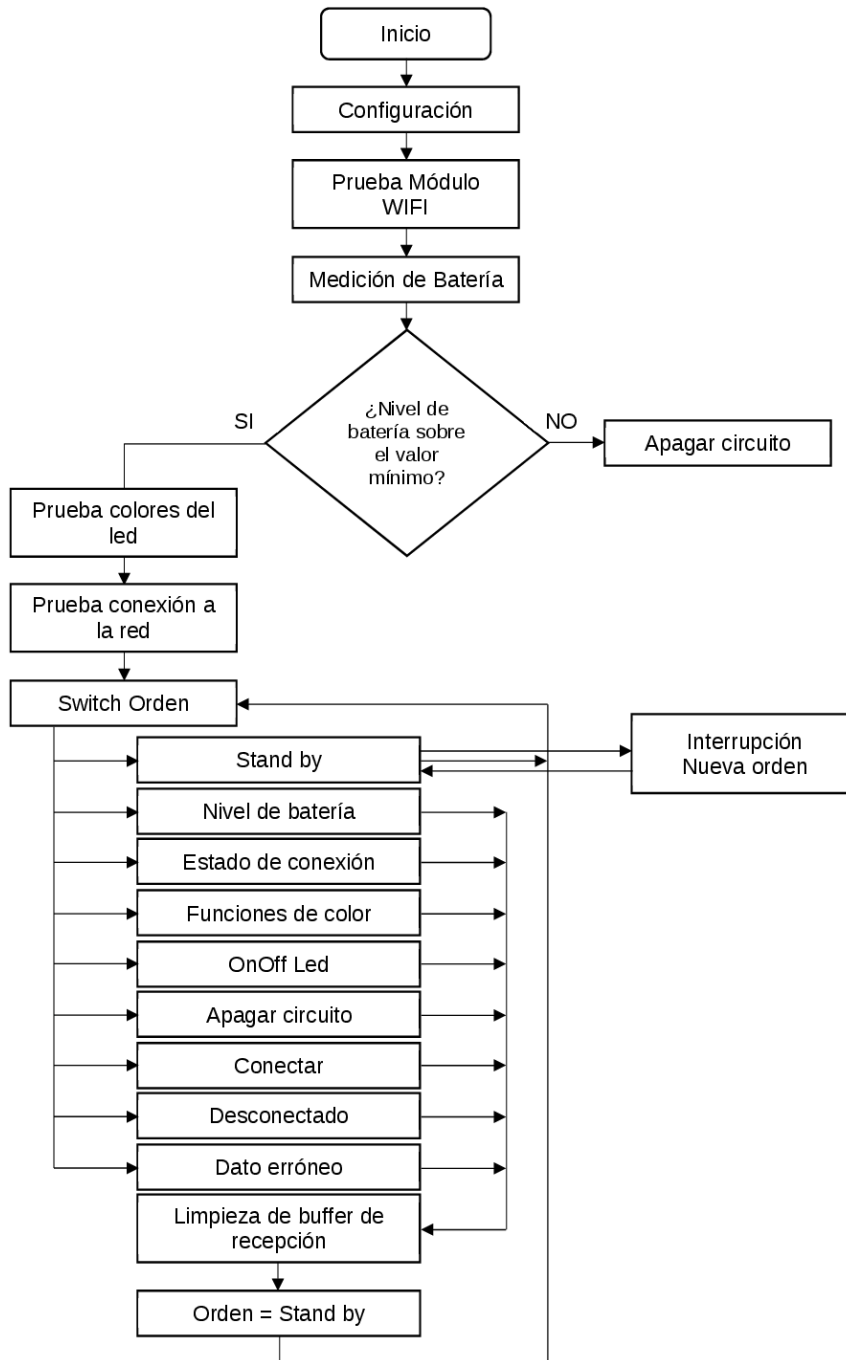


Figura 2.13: Diagrama de flujo – Firmware Luminaria

El mismo fue desarrollado utilizando el software de desarrollo MPLAB X IDE, herramienta que la empresa Microchip propone para la utilización de sus microcontroladores. En conjunto, se utilizó el compilador XC8 de la misma firma en su versión V2.10.

La estructura principal está constituida por un bucle infinito que en su interior dispone de un algoritmo de selección switch. Este permite moverse dentro del código y ejecutar la parte del mismo que sea requerida a través de los datos recibidos.

La recepción de datos se lleva adelante haciendo uso de la interrupción que dispone el microcontrolador en su periférico EUSART. Esta avisa cuando se recibe el primer carácter de la trama enviada por el módulo de comunicación e inmediatamente se ejecuta una rutina que arma la trama completa observando de manera cíclica el registro destinado a la recepción de datos del microcontrolador. Luego, dicha trama se analiza y se devuelve una nueva orden al hilo principal del programa.

El envío de información se realiza a través de una función que se encarga de colocar dentro del registro destinado al envío del periférico EUSART cada uno de los bytes que conforman la trama necesaria para ordenarle al módulo que realice el envío, junto con los datos necesarios para tal fin.

2.2.3 Funcionamiento

El funcionamiento de este circuito se puede describir siguiendo el diagrama de flujo del firmware (Figura 2.13).

Al energizar, en el bloque de corte de alimentación se genera el pulso de tensión que pone en alto la salida del circuito latch y conecta el resto del circuito. Acto seguido, el microcontrolador configura sus periféricos con los parámetros preestablecidos para la aplicación y espera un tiempo prudencial para que todo el circuito se encuentre en funcionamiento estable. Pasado ese tiempo, se prueba la comunicación con el módulo WIFI de forma cíclica hasta obtener una respuesta del mismo.

Luego, se realiza una medición del nivel de tensión existente en la batería y se indica el mismo mediante señal luminosa de color e intensidad determinada para cada uno de los cuatro casos establecidos: batería baja, nivel por debajo de la mitad, nivel superior a la mitad y batería completa. En caso de registrarse un nivel de batería baja, luego de indicar el mismo, se activa la señal de corte de alimentación y el latch abre la conexión con la

batería, desenergizando todo el circuito y manteniéndolo así hasta que se produzca el accionamiento manual del switch mecánico.

Si la batería se encuentra en condiciones, el firmware continúa y comienza a testear el estado de conexión con la red WIFI del sistema y dependiendo de éste, coloca en la variable Orden la siguiente operación; Conectar, para abrir un canal de comunicación si la red está existente, o Desconectado, si no se está conectado a ninguna red y queda a la espera de una nueva conexión.

Una vez conectada a la red, la luminaria actúa como esclavo, realizando acciones en respuesta de los pedidos de la central o la interfaz. Las mismas le envían tanto la orden que debe cumplir como los datos necesarios para su ejecución. Al terminar de realizar cada acción se ejecuta la parte del código denominada Stand by, en la cual el microcontrolador queda a la espera de una nueva orden.

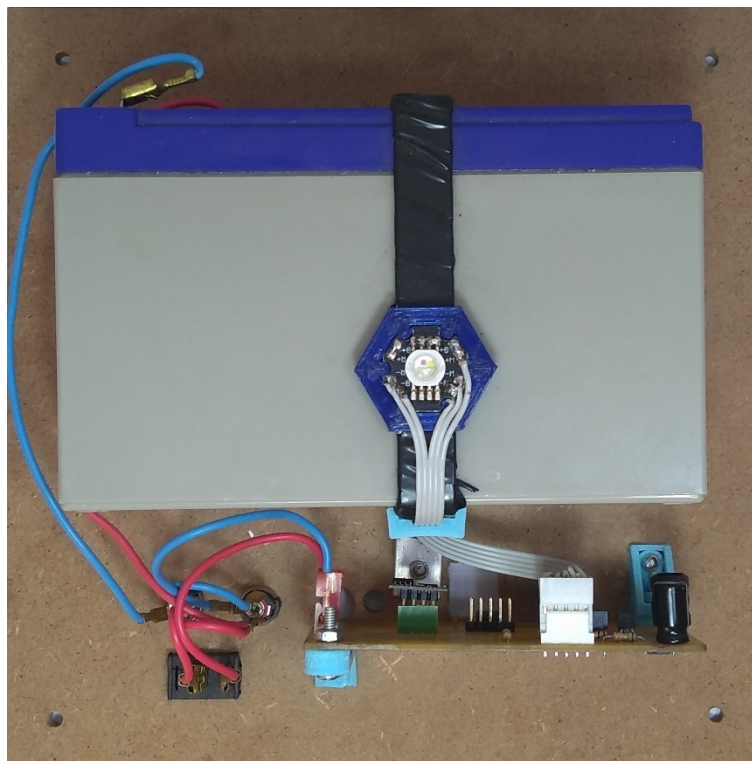


Figura 2.14: Estructura interna bloque Luminaria, vista superior

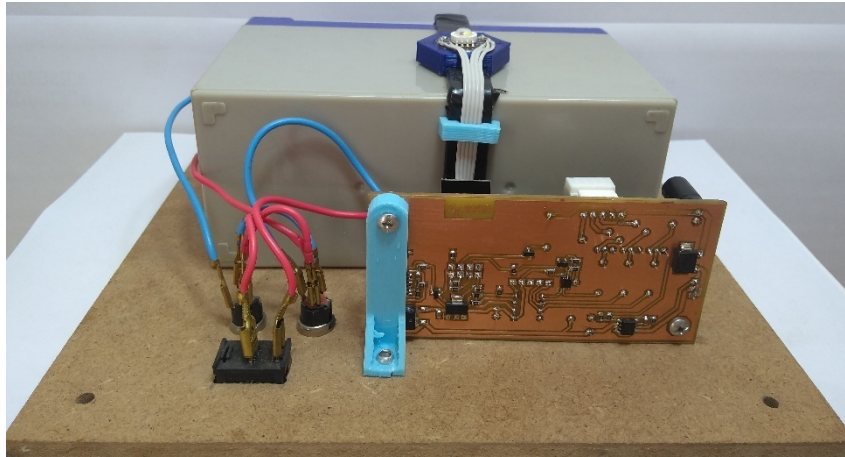


Figura 2.15: Estructura interna Bloque Luminaria, vista lateral

2.3 Bloque Central

2.3.1 Hardware

El siguiente diagrama divide el hardware implementado en cinco subbloques que permiten realizar una mejor descripción del mismo y representan, además, la disposición física de los circuitos que conforman este bloque.

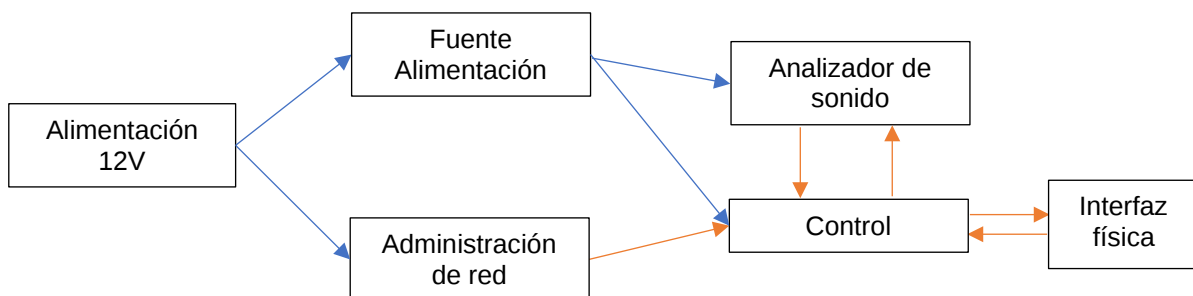


Figura 2.16: Diagrama en bloques de la Central

El bloque Administración de red es el encargado de la generación de la red LAN sobre la cual se basa el sistema, la gestión de los elementos que se conecten a dicha red y el direccionamiento de los datos enviados a través de la misma.

Para tal fin, se emplea un router inalámbrico que, con una simple alimentación, realiza las acciones mencionadas anteriormente de manera predeterminada y, además, permite la configuración de sus parámetros de forma sencilla mediante plataforma HTML corriendo sobre un ordenador conectado a la red. El uso de dicho router acelera el desarrollo del sistema y reduce la complejidad en la comunicación entre los elementos de la red.

Por otro lado, el bloque Fuente de alimentación entrega los voltajes necesarios para el funcionamiento de los distintos circuitos de la central. Los voltajes requeridos son 5 volts, positivos y negativos, para la etapa de procesamiento de sonido, y 3,3V y 4V, para la alimentación de los microcontroladores y los módulos empleados para las distintas conexiones implementadas.

Los voltajes de cinco volts positivos y negativos se obtienen mediante la utilización de fuentes switching en configuración step down e inverting, respectivamente. En ambos casos se utilizó el MC34063A-D, el cual, mediante la utilización de pocos elementos pasivos, permite el funcionamiento en los modos requeridos. Los circuitos empleados son los propuestos por el fabricante en la hoja de datos del integrado y el cálculo de los valores mínimos de los componentes se realizó según lo establece la nota de aplicación AN920-D. Los mismos se incluyen en el Anexo I.

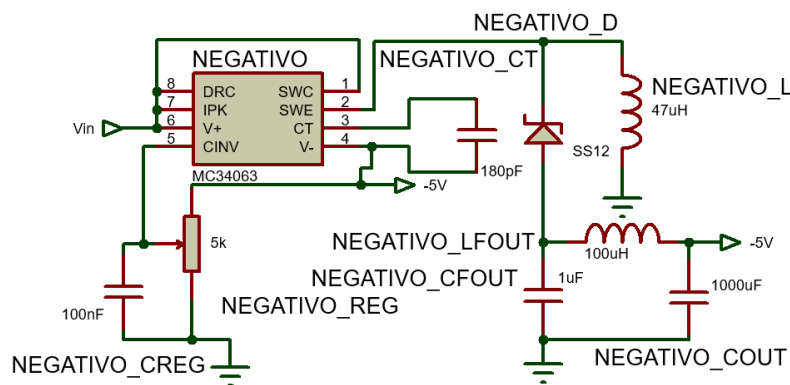


Figura 2.17: Circuito configuración inverting – Tensión negativa

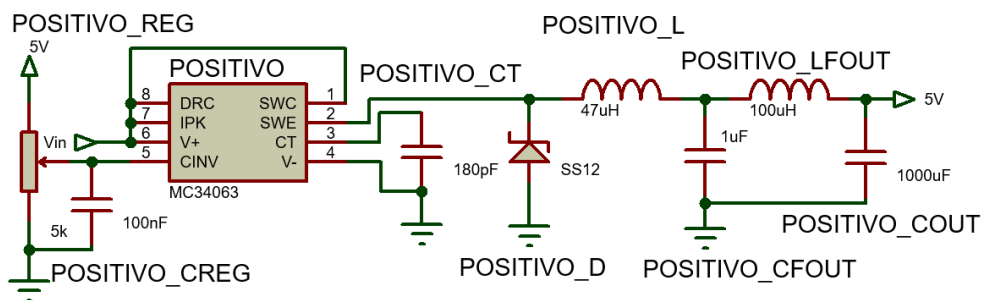


Figura 2.18: Circuito configuración step-down – Tensión Positiva

Como puede observarse en las imágenes, se ha colocado a la salida de cada fuente, un filtro LC de configuración pi y una frecuencia de corte de que ronda los 3 Hz. El mismo fue calculado y analizado con la herramienta Filter Solutions 2009.

La utilización de filtros a la salida de ambas fuentes fue necesario debido a que las variaciones generadas durante la conmutación corrompían la señal eléctrica proveniente del micrófono encargado de captar el sonido ambiente. Ésta es de pocos milivoltios de amplitud y se veía seriamente afectada por la tensión de ripple generada en la fuente.

De la misma manera, se colocó un filtro a la entrada para que las variaciones eléctricas generadas en la conmutación lleguen atenuadas a la alimentación y no dañen la misma. La configuración calculada posee una frecuencia de corte de 1 Hz y, a partir de los 10 KHz, posee una atenuación de 60 dB por década.

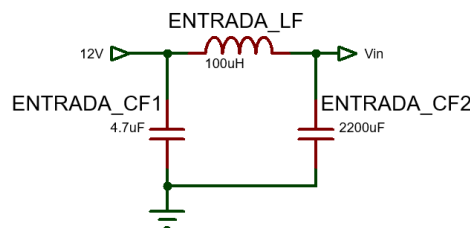


Figura 2.19: Filtro de entrada al bloque Fuente de alimentación

En cascada con la fuente de tensión positiva se integra un circuito de regulación lineal LD1117DT, junto a su circuito complementario, con el fin de reducir la tensión a un nivel estable de 3,3 volts.

La tensión de 4V se obtiene mediante el circuito propuesto por el fabricante del módulo que se dispone a energizar. El mismo propone utilizar el integrado LM2596 con su respectiva configuración step down descrita en el datasheet del mismo.

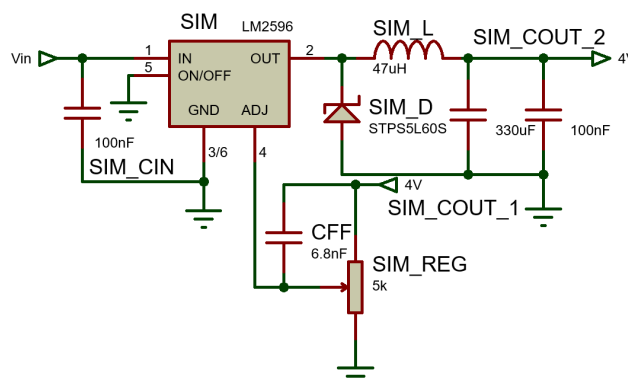


Figura 2.20: Circuito alimentación módulo GSM

El subbloque Control se encuentra compuesto por el microcontrolador central. El mismo es el encargado de coordinar las acciones de las luminarias y la interfaz, junto con un módulo ESP8266-01, con el cual se conecta la central a la red WIFI del sistema, y un módulo GSM

SIM808L, que permite la conexión de la central a una red GSM para realizar los avisos a distancia de las anomalías que surjan durante el empleo del mobiliario.

Ambos módulos empleados se comandan a través de comandos AT mediante interfaz serie. Esto implica contar con dos módulos independientes de comunicación USART en el microcontrolador. Otra especificación requerida para este último viene asociada a la necesidad de ajustar el nivel de umbral de volumen en el cual el sistema responde a las variaciones externas. Para tal fin, se decidió utilizar un potenciómetro digital en la etapa de sonido que se explicará más adelante. El modelo disponible en el proveedor elegido emplea una comunicación SPI para ejecutar los cambios de resistencia entre sus bornes de salida. Por lo tanto, el microcontrolador debía contar con este tipo de comunicación y que la misma pueda ser implementada de forma independiente a las demás.

El microcontrolador disponible en el proveedor, dentro de la marca Microchip, que cumple con los requisitos necesarios es el PIC18F26K22. Este microcontrolador dispone de 28 pines entre los cuales se distribuyen las salidas de sus distintos módulos y cuenta con suficiente memoria de programa y de datos para alojar durante la ejecución la información necesaria de 200 luminarias. También, su velocidad de procesamiento cumple aceptablemente con el desempeño esperado del sistema.

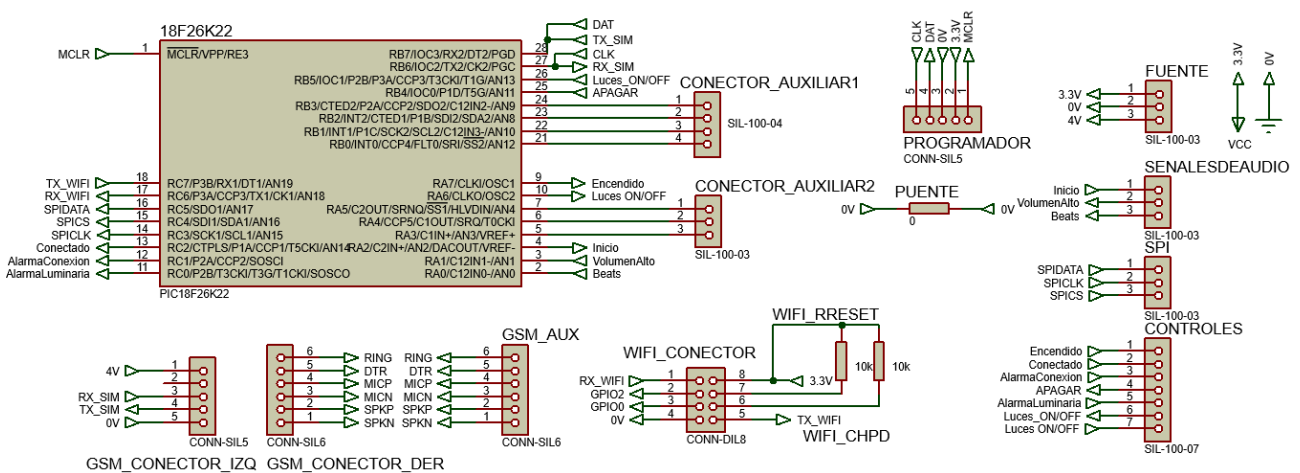


Figura 2.21: Circuito bloque Control

La Interfaz física implementada dispone de leds que permiten visualizar el estado del sistema de forma rápida cuando la interfaz gráfica no se encuentra conectada. En adición, cuenta con dos botones para apagar el sistema y para apagar o prender las luminarias. Este circuito se conecta al subbloque anterior a través de una conexión cableada que

traslada las distintas señales provenientes del microcontrolador y las generadas en los botones.

Este bloque se ha distribuido en dos placas con el fin de poder ubicar el botón destinado a apagar el sistema en un lugar apartado, buscando evitar que sea apretado de forma accidental. Dicho botón provoca que la central envíe la orden a las luminarias para que activen su sistema de corte de energía y reinicia el estado de la central al estado inicial. Este se utiliza para restablecer los valores al finalizar el uso del sistema y dejarlo en condiciones neutrales para una futura nueva utilización.

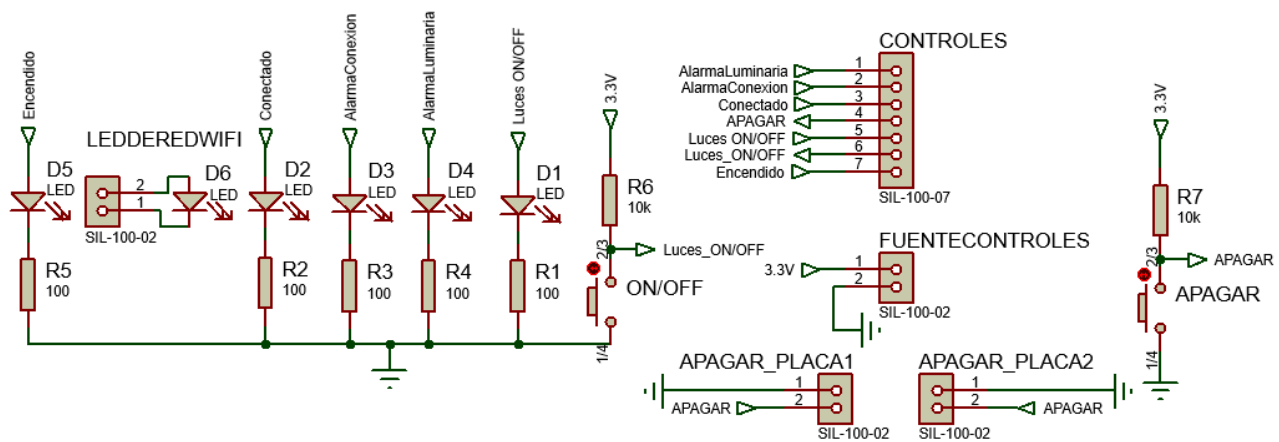


Figura 2.22: Circuito Interfaz física

La central es un elemento más de la red, por lo tanto, debe conectarse a la misma. El indicador D6 es empleado por el subbloque Administrador de red con el fin de indicar cuando se encuentra establecida la red WIFI. En adición, el led D2 indica si el módulo ESP-01 ha podido establecer conexión con la mencionada red. Para establecer conexión con otros elementos de la red, la central debe abrir un puerto de comunicación a través del cual enviará y recibirá la información transmitida. El led D3 indica si dicho puerto pudo ser abierto o no.

Una de las funciones de la central es controlar que todas las luminarias que se conectaron y configuraron no hayan sido desconectadas de la red. El diodo D4 indica si existe alguna luminaria faltante en el sistema.

Finalmente, el botón ON/OFF permite prender y apagar todas las luminarias a la vez y el led D1 indica el estado de las luminarias, encendidas o apagadas respectivamente.

El último de los subbloques es el denominado Analizador de Sonido y es el responsable de adquirir el sonido ambiente y procesarlo para encontrar los beats musicales y marcárselos

al bloque de control, para que éste tome las acciones correspondientes. Teniendo en cuenta esto, se puede dividir este subbloque en dos secciones, adquisición y acondicionamiento y, por otro lado, procesamiento.

La sección de adquisición y acondicionamiento cuenta de un micrófono de cápsula Electret cuya salida alimenta un preamplificador implementado en dos etapas amplificadoras lineales inversoras. La primera de ellas opera la señal proveniente del micrófono con su componente de continua. Para esto se establece un nivel de referencia, a través de un divisor resistivo en la entrada positiva del operacional, que establece la salida con entrada cero a la mitad de la tensión de alimentación que permite que la señal posea iguales semiciclos.

En esta etapa fue colocado el potenciómetro digital que permite variar la ganancia del amplificador a través de la comunicación SPI antes descrita, ajustando así la amplitud de la señal que llega a la etapa de procesamiento. El potenciómetro elegido, el MCP41010, posee una resistencia de 10 kilohms divididos en 256 pasos y opera con niveles de tensión positivas, recortando de esta forma la parte negativa de la señal causando distorsión. Por este motivo se decidió operar la señal con su componente continua.

El primer amplificador se comunica al segundo a través de un capacitor de desacoplo, eliminando de esta forma la componente continua de la cápsula. Esta segunda etapa amplificadora es de ganancia fija, la cual es seteada con un preset que permite ajustar la misma para que los niveles de salida se ajusten a los de entrada de los circuitos de procesamiento durante todo el rango de variación del potenciómetro digital.

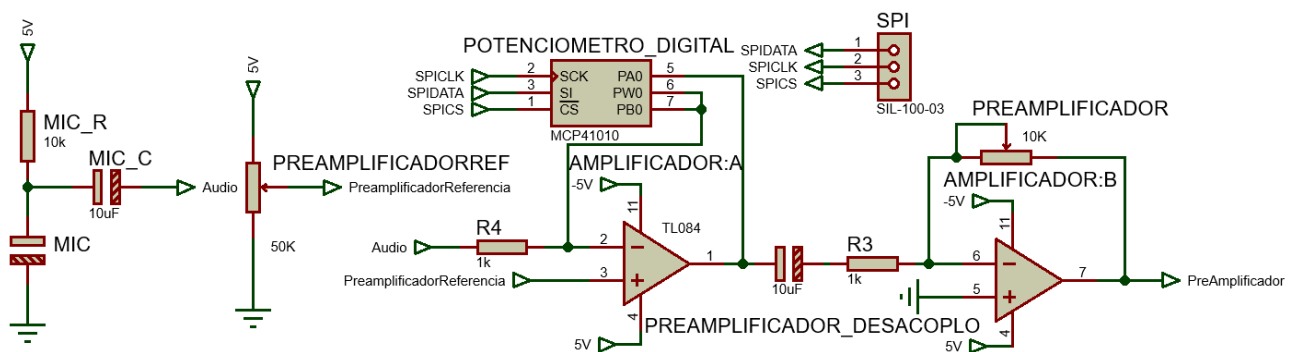


Figura 2.23: Micrófono y preamplificador

A la salida del preamplificador se coloca una red de ponderación. Estas redes se encuentran formadas por una sucesión de filtros cuya curva de respuesta resultante adapta la señal los procesamientos que se deseen realizar. Se utilizan en instrumentos de medición de sonido

y existen de distintas clases que varían dependiendo el espectro que se encuentre en interés. La más utilizada es la denominada clase A, la cual es muy similar a la curva de sensibilidad del oído humano. La composición de la red está basada en la norma IRAM 4074, la cual especifica que el filtro debe ser construido con elementos pasivos y su característica de salida debe poseer un polo doble sobre el eje real a los 20,6 Hz, uno simple en 107,7 Hz y 737,9 Hz, y uno doble en 12 KHz. Con esto se garantiza la atenuación en baja y en alta frecuencia que posee el oído. Esta red le brinda a la central la posibilidad de tener una respuesta similar a la que se generaría en una persona.

A la salida de la red se coloca un amplificador operacional en configuración inversora aislando así la red de los consumos de la próxima etapa y amplificar la salida, contrarrestando las pérdidas generadas por los elementos pasivos utilizados.

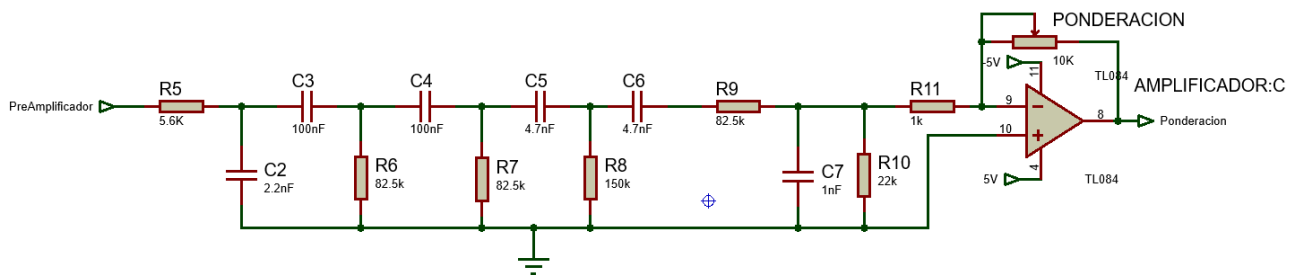


Figura 2.24: Circuito de ponderación clase A

La siguiente sección del subbloque analizador de sonido, la de procesamiento, es la que mayor tiempo de desarrollo implicó. El procesamiento necesario para obtener los beats musicales no resulta sencillo y los resultados obtenidos en los distintos métodos existentes de detección no funcionan en el ciento por ciento de los casos.

En un primer momento, se planteó realizar este procesamiento de forma analógica. Para tal fin, se probaron distintas combinaciones de filtros y amplificadores que, disminuyendo ciertas frecuencias y amplificando otras, generaban picos en los distintos cambios de nivel producido al momento del beat. Luego de distintas pruebas, tanto simuladas como en circuitos implementados, se descartó esta posibilidad ya que, por la cantidad de circuitos en cascada, los parámetros a ajustar eran demasiados, volviéndose tedioso el procedimiento de calibración. Además, su desempeño era limitado a bandas de frecuencias determinadas, necesitando ajustes de parámetros para cambiar las bandas necesarias para cada tipo musical.

Como alternativa se optó por el procesamiento digital. Para llevarlo adelante se utiliza un procesador digital de señales (DSP) también de Microchip. El dsPIC33FJ128GP802 es un

microcontrolador que posee dos núcleos. Por un lado, el núcleo DSP posee los registros y la velocidad de procesamiento necesaria para analizar muestras de señales, y por el otro, el núcleo que se encarga de realizar las instrucciones de programa y controlar los periféricos. Dispone además de 16 Kb de memoria RAM dividida en dos secciones y permite el acceso a una de ellas a través de un módulo de acceso directo a memoria, el cual le concede la posibilidad de colocar datos desde los periféricos a la RAM sin la intervención del procesador. Esta característica es ideal para el muestreo de señales.

En conjunto con el DSP, se emplea una nueva etapa amplificadora que adapta la señal proveniente de la sección de adquisición a los niveles de tensión aceptados por el conversor A/D del microcontrolador empleado para el muestreo de la señal de audio procesado. Los niveles límite aceptados son 0 volts y 3,3 volts. Por tal motivo, se utiliza nuevamente un nivel de referencia en una de las entradas del amplificador operacional. Este nivel posee un valor tal que establezca una salida, en entrada cero, a 1,65 volts, la mitad de los valores límites. De esta forma, las muestras tomadas pueden ser de la señal completa.

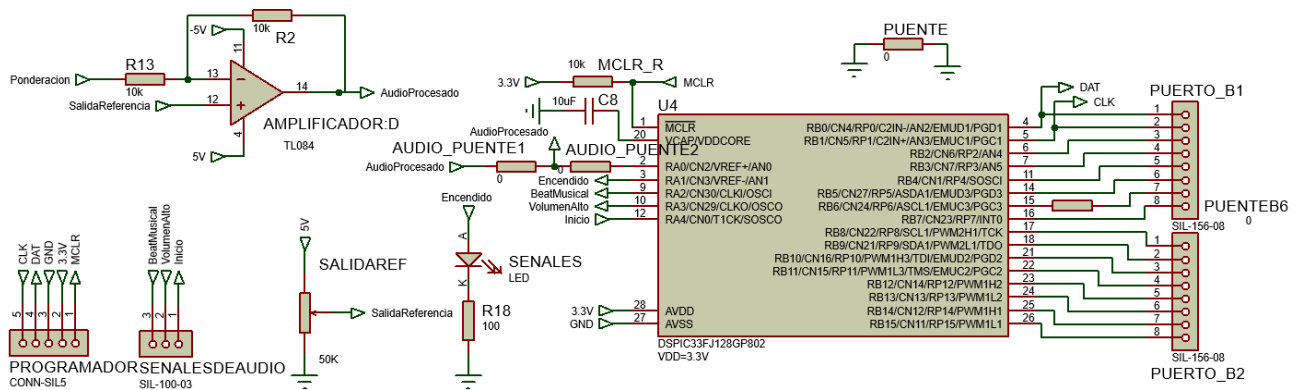


Figura 2.25: Circuito Procesamiento digital de audio

A través del conector señales de audio, se informa al subbloque control del estado musical y se recibe de éste la orden para iniciar el muestreo.

2.3.2 Firmware

Este bloque consta de dos microcontroladores, por lo que se han desarrollado dos firmwares, cada uno específico para su función. Ambos han sido desarrollados utilizando la herramienta de desarrollo MPLABX de la empresa Microchip. Sin embargo, al ser microcontroladores de distinta estructura, se utilizaron distintos compiladores.

El subbloque control emplea un microcontrolador de 8 bits, por lo cual para el desarrollo se utilizó el compilador XC8 en su versión V2.10.

La estructura del firmware de este microcontrolador es similar a la luminaria. El hilo principal o main se encuentra constituido por un bucle infinito y un switch que ejecuta la porción de código requerida en cada situación, respondiendo a los distintos eventos que se produzcan.

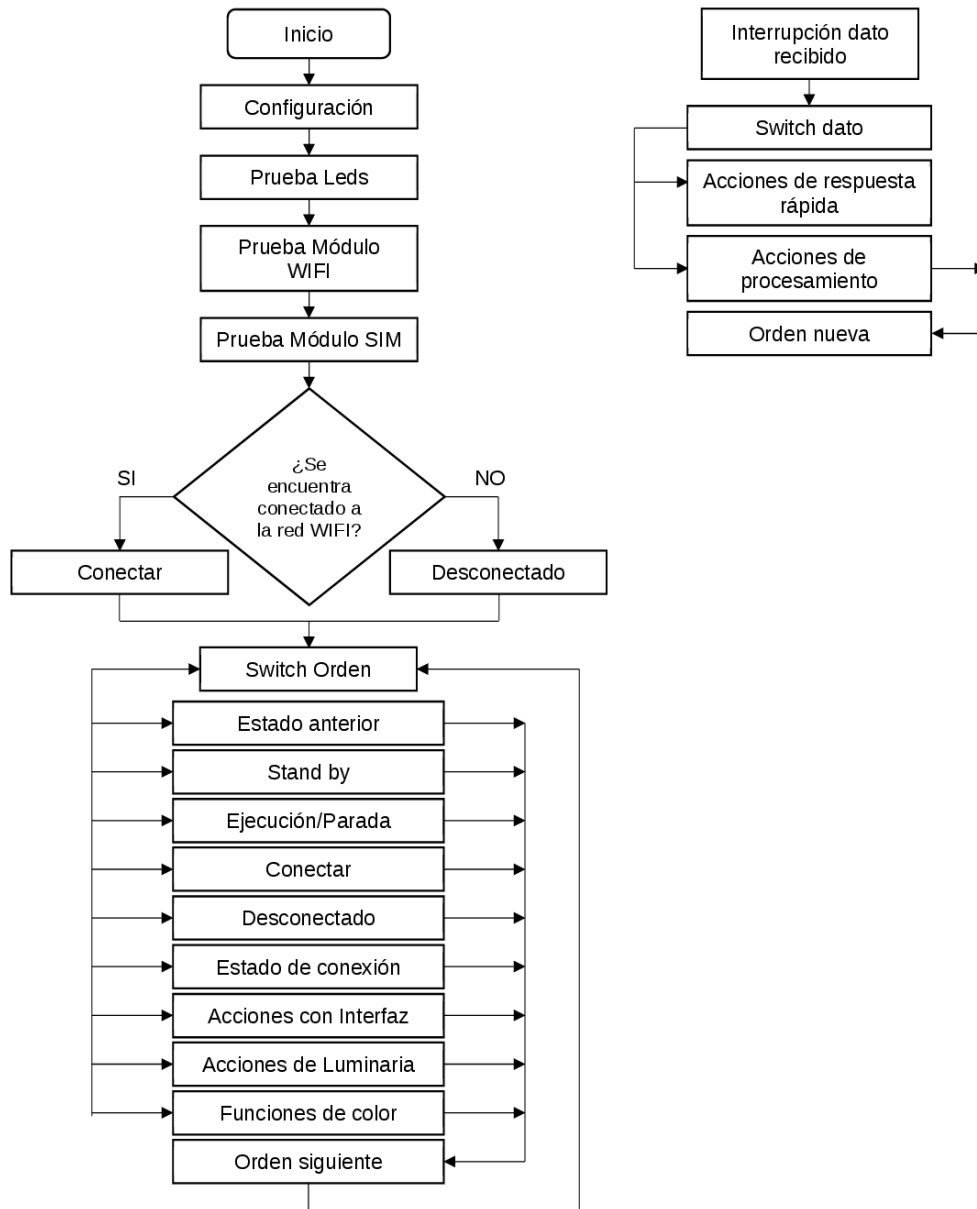


Figura 2.26: Diagrama de flujo – Firmware subbloque Control

Los eventos se registran a través de los distintos periféricos y sus correspondientes interrupciones. Cada una de ellas indica al hilo principal que parte del código realizar. Para esto se dispone de un vector que actúa como lista de instrucciones, en la cual se van acumulando las distintas acciones necesarias y el hilo principal las ejecuta en orden. Depende la urgencia de la acción a ejecutar, el software puede colocarla al final o al principio de la lista. Si se requiere una acción inmediata, el firmware tiene la opción, además, de ejecutarla en la misma rutina que realiza el pedido.

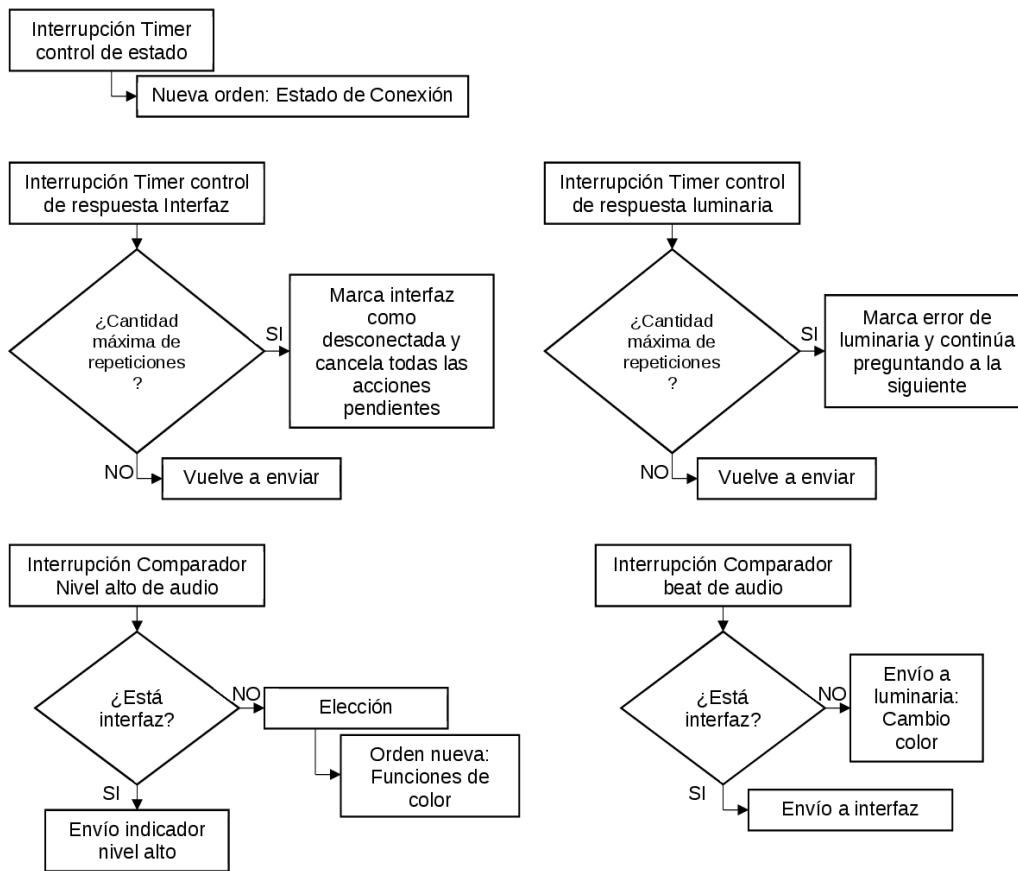


Figura 2.27: Diagrama de flujo – Interrupciones subbloque Control

El DSPic utilizado para el procesamiento de audio posee una estructura de 16bits y el compilador propuesto por la firma de manufactura es el XC16. El mismo dispone de funciones específicas que hacen uso óptimo de los registros y los procesadores del microcontrolador. La versión empleada durante el desarrollo es V1.41.

El firmware desarrollado hace uso de la librería dsp.h, incluida en el paquete de instalación del compilador utilizado. La misma dispone de los algoritmos necesarios para el cálculo de la transformada rápida de Fourier la cual permite obtener la energía de la señal de audio, distribuida en la frecuencia. Con este resultado, se pueden analizar los cambios de energía en la señal y determinar cuándo se produce el beat musical que marca el ritmo.

El programa, además, emplea dos interrupciones. La primera en entrar en acción es la interrupción que da inicio o parada al proceso de muestreo, la cual es del tipo de cambio de estado. Cuando Control requiere realizar una acción, cambia de estado la línea de comunicación y este cambio es advertido por el bloque de interrupciones e indicado mediante su bandera correspondiente al procesador.

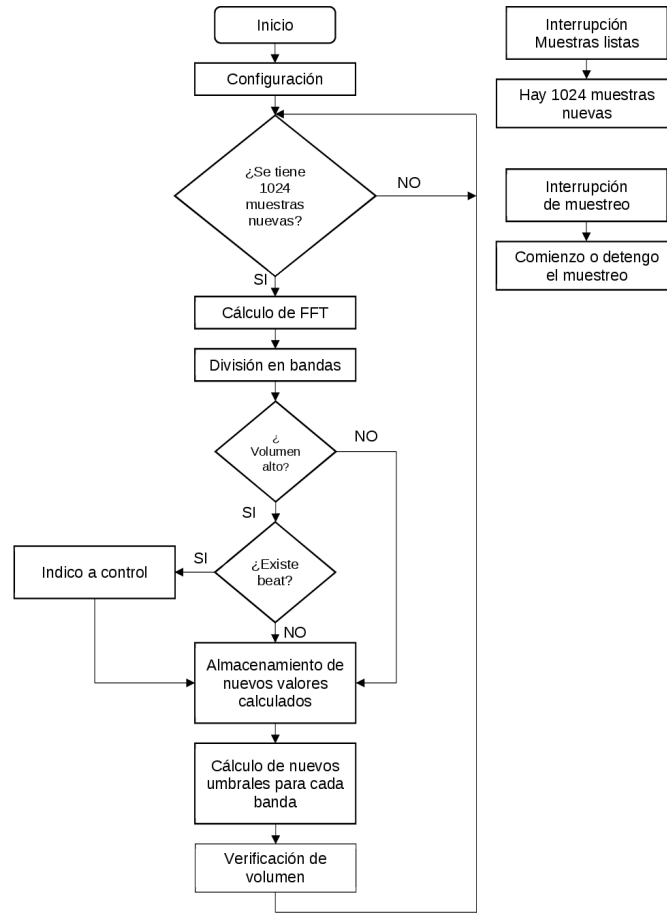


Figura 2.28: Diagrama de flujo – Firmware subbloque Analizador de sonido

Cuando se inicia el muestreo, se activa el timer empleado para el mismo y el módulo de acceso directo a memoria que coloca los datos recolectados directamente en la memoria RAM asignada. En el momento que se acumulan 1024 muestras nuevas, se activa una nueva interrupción y el programa copia dichas muestras a otro sector. A partir de allí, comienza el análisis de las muestras y el sector de muestreo sigue recopilando datos, pizando las muestras anteriores.

Los 512 índices obtenidos de la FFT se dividen en 64 bandas de frecuencia utilizando una forma de agrupación logarítmica que concatena mayor cantidad de índices a mayor frecuencia. Esto compensa la menor energía que disponen las frecuencias altas del espectro audible. De existir un volumen de música superior al umbral establecido, los nuevos valores calculados se comparan con el umbral de energía de cada banda y si existe alguno que es mayor a dicho umbral, se determina la existencia de un beat.

Luego, estos valores se almacenan en un vector. En total se almacenan 48 valores por banda, esto equivale a almacenar la energía de las bandas de un período igual a un segundo, tiempo similar a la memoria auditiva del ser humano. Esto es así debido a que el

muestreo se realiza a 49152 hz, valor que está por encima del mínimo impuesto por Nysquist para recrear de forma correcta una señal de 20 kHz, considerada como la frecuencia máxima detectada por el oído humano.

Con estos 48 valores, se obtienen la varianza y el promedio de cada banda para determinar el humbral que cada banda debe superar para que se determine si existe un beat en un nuevo grupo de muestras.

A su vez, la verificación de volumen se realiza comparando la suma de los promedios de todas las bandas es mayor a un valor predeterminado al momento de la programación del microcontrolador. Dicho valor se obtuvo en distintas pruebas realizadas utilizando el microcontrolador en modo debugger y extrayendo el valor calculado con distintos tipos musicales y distintos volúmenes aplicados.

2.3.3 Funcionamiento

La central es la encargada de administrar las partes en el sistema. Es por esto que al energizar los circuitos se llevan adelante las configuraciones de todos los periféricos mencionados hasta aquí y de la iniciación de las variables a utilizar. En forma paralela, el router establece los parámetros y crea la red WIFI. Acto seguido, se realizan pruebas de conexión con los distintos módulos empleados y se realiza una prueba de los indicadores, para mostrar que todos funcionen.

Una vez que todos los componentes son comprobados, se comprueba el estado de conexión a la red. Si se detecta conexión, se ejecuta la acción conectar y se procede a abrir el puerto a través del cual se recibirá y enviará la información a los diferentes elementos. Todos los datos de red se encuentran preestablecidos desde la configuración de los elementos del circuito, siendo estos de carácter permanente. La información de identificación de red, SSID y contraseña, los posee el módulo WIFI y los puertos a utilizar se encuentran en el microcontrolador de control, quien es el encargado del manejo de los datos. Por el contrario, la dirección IP utilizada por los elementos del sistema no es fija, por lo tanto, es asignada por el router a medida que se conecten a la red. De no existir conexión, el programa se desplaza hacia el código identificado como Desconectado, donde permanece hasta que el módulo ESP-01 avise la conexión a la red.

Una vez establecida la conexión, se reestablece el estado anterior que poseía el sistema antes de ser desenergizado. Para esto, se dispone de una serie de banderas que van indicando el estado del sistema a cada instante y van siendo grabadas en la memoria

EEPROM del microcontrolador. De esta forma, pueden ser leídas al momento de reiniciar la central.

Terminado el proceso de configuración y restitución, la central queda a la espera de los eventos que se presenten o de las órdenes enviadas desde la interfaz, para actuar en consecuencia. Este estado de espera lo realiza en la parte de código llamada Stand by del firmware de control (Figura 2.26). Por su parte, el microcontrolador del Analizador de sonido espera la señal de inicio de muestreo para comenzar a analizar la señal de audio y determinar su volumen (Figura 2.28).



Figura 2.29: Central montada

2.4 Bloque interfaz

La interfaz implementada es una aplicación gráfica que se ejecuta sobre un dispositivo con sistema operativo Windows. El entorno de desarrollo elegido para la implementación es Qt Creator con su respectivo compilador para Windows, en versión 5.13. El lenguaje de programación utilizado es C++ y se hace uso de las distintas clases y objetos que provee el IDE de programación. Una de las utilidades empleadas es la relacionada al manejo de multithread o múltiples hilos de ejecución. Esta posibilidad permite ejecutar diferentes acciones en simultáneo sin sobrecargar el equipo utilizado y responder de manera más rápida a los requerimientos.

La aplicación se encuentra estructurada en hilos de ejecución, denominados threads, que cumplen una función específica. Estos threads se crean y destruyen a medida que son necesarios para realizar las acciones requeridas. Cada thread es un objeto de una clase específica, heredera de la clase `QThread`, que forman parte de la clase principal y administra la ejecución del hilo.

La interacción de datos entre threads se realiza con un método denominado señales y acciones (Signals – Slots). Las señales se emiten desde un objeto y se recibe en otro que ejecuta la acción. Para que esta interacción se produzca, el objeto padre debe realizar la conexión entre los dos objetos.

2.4.1 Thread principal o GUI

El thread principal de la aplicación es el encargado de manejar todo lo referido a elementos gráficos de pantalla. De esta manera, despliega las distintas ventanas que muestra la aplicación y los distintos menús disponibles en cada instancia. Además de crear cada elemento que representa una luminaria en pantalla, a medida que recibe la información de cada elemento desde la central. Por tal motivo, se encuentra corriendo en todo momento durante la ejecución de la aplicación.

Para la creación de las ventanas utiliza clases heredadas de la clase `QWidget`, elemento gráfico base en la programación orientada a objeto de Qt. La ventana principal de la aplicación es un objeto de clase `QMainWindow`. La misma incorpora elementos de pantalla comunes a una ventana de Windows, como por ejemplo barra de menús y barra de estado.

La ventana principal es la clase que engloba todos los elementos de la aplicación y es la encargada de realizar la conexión entre ellos. Dentro de ella se encuentra la lista que almacena los datos de los mobiliarios del sistema. Esta lista es un objeto de clase `QList<Luminaria>`, la cual es una lista dinámica de elementos de clase `Luminaria` que permite agregar y quitar elementos durante toda la ejecución del programa. Cada objeto `Luminaria` contiene los datos de cada mobiliario conectado a la red. Estos son, la dirección IP, el color, el estado de conexión, si se encuentra prendido o apagado y el tipo de mobiliario. El color y el tipo de mobiliario se utilizan para graficar en pantalla la luminaria. Para tal fin, cada elemento contiene como miembro un objeto de clase `Shapeltem`, el cual almacena la forma con la que la luminaria será representada y la posición en pantalla donde se coloca dicha forma, además del color de la misma. La forma se logra empleando la clase `QPainterPath`. La misma permite crear objetos que contengan dibujos realizados por el

usuario para ser utilizados con formas por defecto y coloreadas durante su utilización. La ventana principal contiene un Objeto que funciona de repositorio de formas desde donde se asigna a cada elemento una u otra dependiendo del tipo que disponga.

Para el resto de las ventanas se utiliza la clase `QDialog` la cual crea un nuevo objeto en pantalla sin detener la ejecución en su aparición. A su vez, los mensajes de advertencia y errores utilizan la clase `QMessageBox`. Esta última crea una ventana que se coloca sobre las anteriores y detiene el hilo hasta recibir la interacción del usuario con su único botón de aceptación.

Este thread, además, es el que administra la creación de cada hilo secundario y la conexión entre estos. Como respuesta a cada acción del usuario o a los datos recibidos, da inicio o detención a los distintos threads que van interactuando entre sí. Para tal fin, crea y destruye objetos de clases heredadas de la clase `QThread`, diseñadas con características específicas para cada necesidad.

2.4.2 Threads Socket Recibe y Socket Enviar

Ambos threads se encargan de administrar los puertos a través de los que se realiza la comunicación. Esta tarea se lleva adelante utilizando un objeto tipo `QUdpSocket`, la cual dispone de todas las funciones miembro para administrar un puerto de comunicación UDP. Las mismas permiten la apertura y cierre del puerto, la extracción de los datos recibidos en el mismo y la colocación de los datagramas a enviar.

La aplicación utiliza dos puertos diferentes, para poder realizar la tarea de recibir y enviar datos en simultáneo. Por tal motivo, se utilizan dos hilos de ejecución. El Socket Recibe escucha el puerto al cual la central y las luminarias envían la información. Además, detecta que dirección ip fue la que envió el dato. Por cada dato recibido, emite una señal que contiene como información la ip remitente y la trama recibida.

Por su parte, el Socket Enviar es el encargado de enviar la información a los elementos de la red. Al momento de enviar un dato, recibe una señal con la ip de destino y el dato a enviar, arma la trama necesaria para que se realice el envío a través de la red y la coloca en el puerto para ser enviada.

2.4.3 Thread Analizador de Datos

El thread analizador de datos es el encargado de desglosar la trama recibida en el Socket Recibe. Este determina primero si la trama recibida es correcta, verificando el comienzo de

trama. Luego, determina que acción se debe realizar observado el identificador enviado dentro de la trama. Dependiendo que identificador se localiza, se emite la señal al thread correspondiente para que desate las acciones necesarias. Esto se lleva adelante mediante una estructura switch en una función que se ejecuta al recibir la señal correspondiente a un nuevo dato entrante.

2.4.4 Thread Enviar Datos

Este thread es el encargado de armar las tramas para enviar los datos de las luminarias conectadas al sistema a la central y se crea cada vez que sea necesario guardar las modificaciones realizadas. Ordena los datos de cada luminaria en una trama para que lleguen de forma que sean interpretados por la central. Se encarga, además, de verificar que los datos sean recibidos esperando la respuesta de la central. Para tal fin, emplea un nuevo hilo que reitera el envío de datos hasta diez veces y emite una señal si no recibe la respuesta correcta. Si esto ocurre se detiene el envío y se avisa mediante mensaje en la barra de estado de la ventana principal.

2.4.5 Thread Control de Luminarias

Este es un hilo que se encuentra corriendo en segundo plano mientras el sistema se encuentre en ejecución. Su función es controlar que las luminarias que se han configurado en el sistema se encuentren conectadas y no hayan sido sustraídas del alcance de la red. Además, registra la batería de las luminarias durante el transcurso de su utilización.

Para llevar a cabo el control, se hace uso de la unidad de diagnóstico de comunicación PING, ejecutando el protocolo y enviando, mediante la creación de un proceso de Windows, los paquetes ICMP de solicitud y respuesta a cada luminaria cada cierto tipo predeterminado. En caso de no recibir respuesta por parte de alguna luminaria, avisa en pantalla e informa a la central para que esta anuncie la faltante por mensaje SMS.

El proceso mediante el cual se realiza el envío del paquete de verificación se crea a través de la clase QProcess. A la misma se le indica el proceso que se desea iniciar, en este caso PING, y la dirección a la cual se debe apuntar.

2.4.6 Thread Control de Red

Inicia al momento de comenzar la aplicación y es el encargado de administrar las redes disponibles en el dispositivo donde corre la aplicación y enlistarlas para que sean visualizadas por el usuario. Además, se encarga de corroborar que la red elegida en la

ventana de conexión se encuentre disponible y notifica si se produce la desconexión de la misma.

Para esta tarea hace uso de las clases `QNetworkConfiguration` y `QNetworkConfigurationManager`. Estas permiten conocer los adaptadores de conexión existentes en el equipo y el estado de los mismos. En caso de estar activos, se conoce la ip asignada mediante `QHostInfo` y `QHostAddress` y se almacenan en una lista. Luego de que el usuario elige una de ellas y se conecta con la central, el bloque se encarga de controlar que la red continúe activa y realiza avisos en caso de desconexión.

2.4.7 Funcionamiento

Las ventanas que conforman la aplicación son cuatro: la ventana de conexión, la ventana principal, la ventana propiedades y la ventana opciones de color. La primera de ellas es la que se muestra al momento de arrancar el programa. En ella se muestra el nombre de la red a la cual se encuentra conectado el dispositivo y la IP que tiene asignada en la misma.

En esta instancia se permite elegir entre las redes disponibles mediante una lista desplegable. Así se configura a la aplicación para que se conecte a la misma red que se encuentran conectadas las luminarias y la central.



Figura 2.30: Ventana Conexión

El botón Conectar inicia la rutina de conexión de la interfaz con la central. Ésta comienza con la apertura de los dos sockets UDP en el terminal. Si la apertura fue posible, se prosigue

a enviar una trama, que actúa de pedido de conexión a la central, y a la espera de la respuesta de la misma, repitiendo en ocho oportunidades el envío si la central no responde. En caso de respuesta afirmativa de la central, se lleva adelante un intercambio de datos que configuran a la interfaz con el estado en el que se encuentra la central en ese momento y permiten mostrar en la interfaz los datos de las luminarias conectadas. Si no hay respuesta de la central, los dos sockets son destruidos y se muestra en pantalla un mensaje de error. Al conectar la interfaz con la central se cierra la ventana de conexión y se muestra la ventana principal.

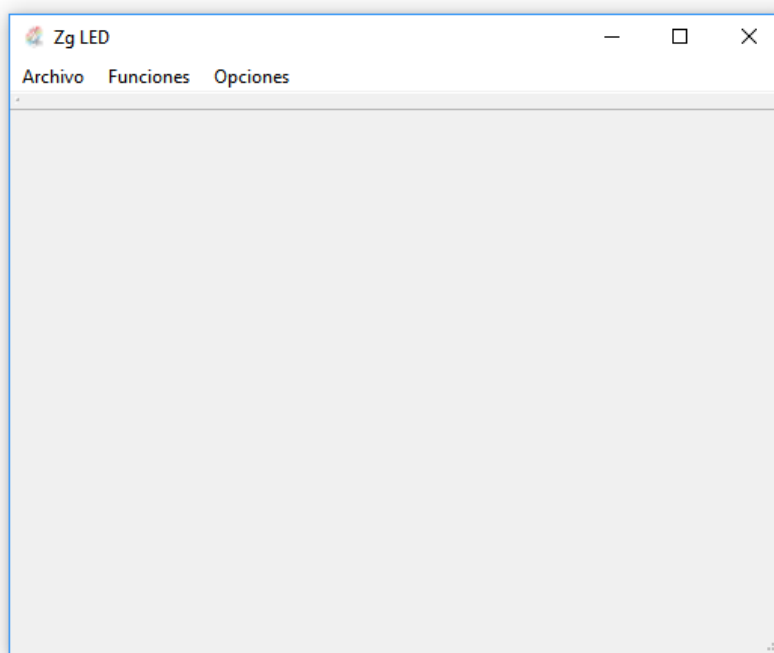


Figura 2.31: Ventana Principal

En ella se visualizan los distintos menús de configuración y el área donde se ubican las luminarias que se conectan. Dentro de esta área, se arma en pantalla la ubicación que poseen las luminarias en el salón donde se encuentran colocadas.

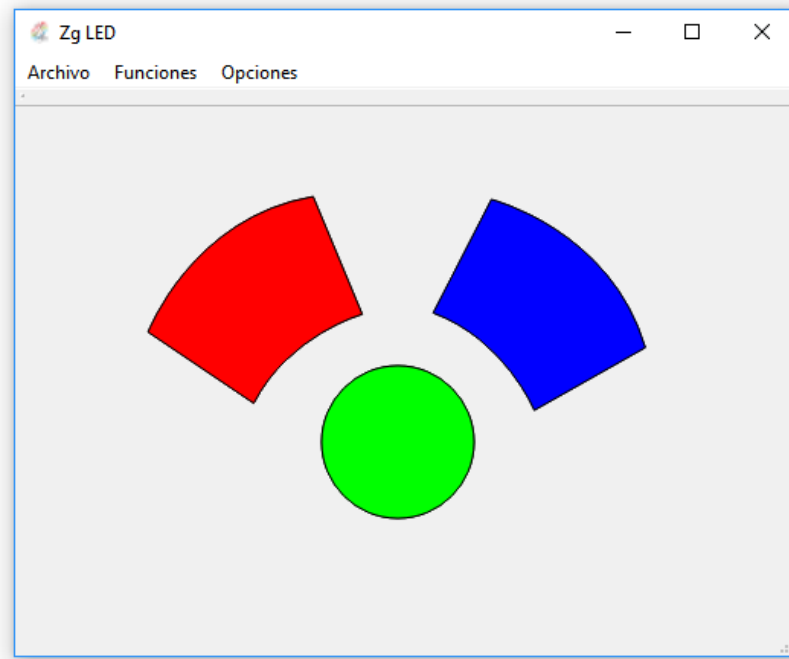


Figura 2.32: Ventana principal con luminarias conectadas

Los menús que dispone la ventana principal son tres: Archivo, Funciones y Opciones. Dentro del menú archivo se encuentran las acciones que permiten Ejecutar o Detener el programa, Guardar las modificaciones realizadas en la central, realizar la reconexión con la central ante cualquier problema o pedir a las luminarias que se reconecten y Salir de la aplicación.

En el menú Funciones se pueden configurar las combinaciones de color y movimiento que realizarán las luminarias al momento de subir el volumen de la música. Las funciones disponibles en la primera versión de la aplicación son cuatro: Fundido o barrido de colores, Flash audiorítmico y dos modos de cambio de color aleatorio al ritmo de la música, uno en el cual las luminarias cambian todas al mismo color y otro en el que todas cambian a distinto color. Cada una de estas funciones se ejecuta en un thread propio que se crea cada vez que se invoca la función.

El menú Opciones permite configurar los valores de umbral de volumen, en el cual el sistema comienza a ejecutar las funciones programadas al ritmo de la música, el tiempo que demora el barrido de colores en la función Fundido y la duración del flash. Además, tiene una opción en la que permite elegir el color de las luminarias y también los modos de color. Estas últimas opciones se visualizan en la ventana opciones de color.

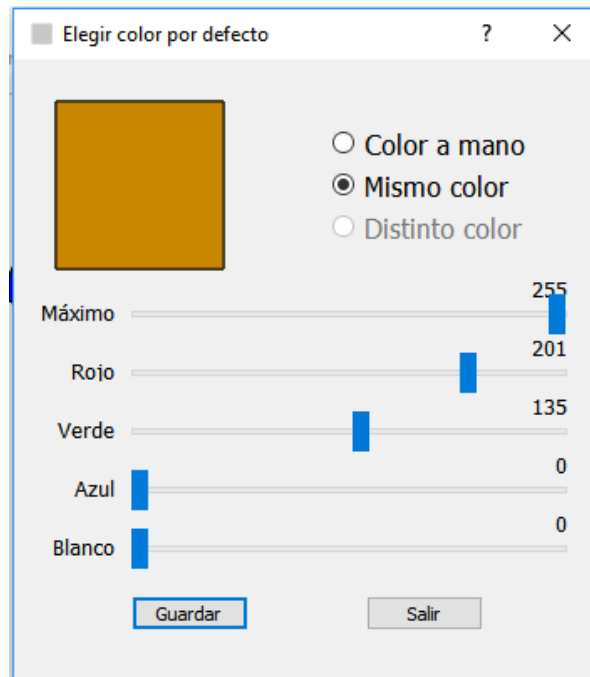


Figura 2.33: Ventana opciones de color

En ella se permite elegir entre tres opciones de color. La primera de ellas es la de configuración manual del color de cada luminaria de forma individual. La siguiente permite darles a todos los elementos un color por defecto, configurándolos a todos de una sola vez con las barras de selección incluidas en dicha ventana.

Por último, existe la opción de darles a cada una de las luminarias un color distinto de forma automática. Para esto la aplicación dispone de un algoritmo que permite barrer con toda la gama de colores dependiendo de la cantidad de elementos conectados.

Otra opción disponible dentro de esta ventana es la de color máximo. Moviendo la barra se gradúa el brillo de los elementos conectados.

La ventana propiedades muestra los datos de la luminaria que se seleccione. Esta se abre realizando un doble clic sobre la luminaria o mediante clic derecho y luego propiedades. Despliega, además, los elementos de selección para cambiar el color de forma manual y el estado lumínico de la luminaria justo a la información del nivel de batería de la misma. Este último se puede actualizar a pedido del usuario mediante el botón Nivel de batería.

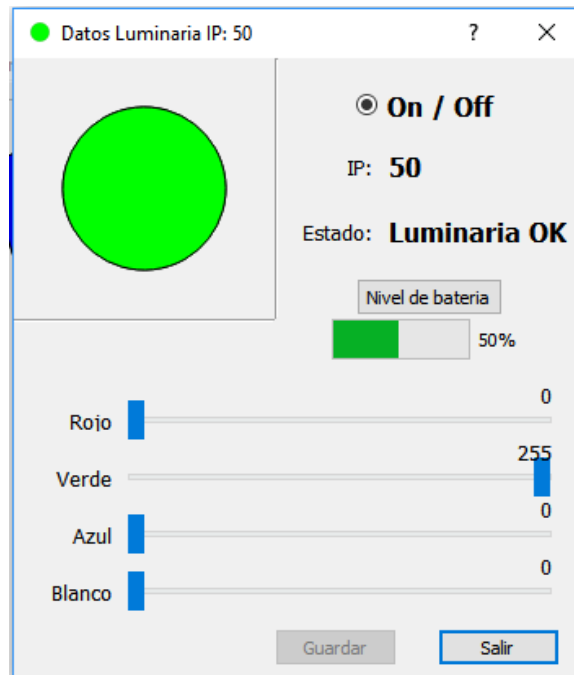
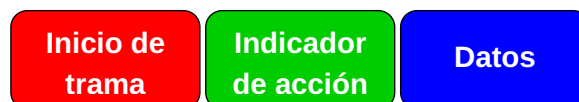


Figura 2.34: Ventana Propiedades

2.5 Comunicación

La comunicación entre los elementos se realiza a través del intercambio de información encapsulada en tramas del protocolo UDP. Dicho encapsulamiento es realizado por el módulo ESP8266 de cada elemento, volviéndose transparente para la programación del sistema. El microcontrolador sólo necesita indicarle al módulo la dirección de destino y el dato a enviar, junto al comando específico, para que éste realice el envío.

La información enviada, a su vez, tiene un formato que permite su verificación y su entendimiento a ambos lados de la comunicación. En rasgos generales, la trama se compone de un indicador de inicio seguido por la acción solicitada y los datos necesarios para su realización.



Debido a la comunicación serie disponible entre el microcontrolador y el módulo, todos los identificadores y valores enviados tienen un tamaño igual a un byte y son del tipo unsigned char, tamaño de los registros empleados por los periféricos de comunicación. Por este motivo, el Inicio de trama está compuesto por un carácter destinado para tal fin. De la misma forma, el Indicador de acción se compone de un byte cuyo valor identifica una acción.

Internamente, el segmento Datos dispone de una estructura que depende de la acción que se solicita dado que, cada una de ellas, necesita de datos diferentes. Es por esto, que este segmento puede variar desde un carácter que indica un valor de una variable hasta diez caracteres cuando se intercambian las propiedades de las luminarias entre la central y la interfaz.

Los identificadores utilizados se muestran en el Anexo IV junto con los datos necesarios para cada acción.

2.6 Funcionamiento general

El funcionamiento del sistema se rige por el bloque Central. Éste debe estar conectado para que se establezca la red y se conecten los diferentes elementos y por tal, al iniciar los bloques Luminaria e Interfaz, los mismos buscan conectarse con él y quedan a la espera de su respuesta de confirmación para realizar alguna acción.

Cuando la central termina de establecerse y configurarse, como ya se ha explicado anteriormente, los distintos mobiliarios que se han encendido, a través de su switch individual, comienzan a conectarse a la central a medida que esta les contesta. Terminada la conexión, la central queda a la espera de la señal de comienzo de ejecución. La misma sólo puede provenir del bloque Interfaz. Por tal motivo, para configurar el sistema debe iniciarse esta última.

Al momento de conectar la interfaz, la central le envía todos los datos de las luminarias que dispone conectadas y estas se comienzan a mostrar en pantalla. Los mobiliarios que se conecten a partir de este momento, son recibidos por la central y enviados inmediatamente sus datos a la central.

Desde la Interfaz se le asigna a cada luminaria el color de funcionamiento por defecto y se puede prender y apagar cada una de ellas, de forma individual o en conjunto, comunicándose de forma directa, sin intervención de la central. Por último, al finalizar las configuraciones, se permite guardar los datos en la central para que ésta pueda actuar de manera autónoma, en caso de desconexión de la interfaz.

Para comenzar con el sensado del ambiente y el control de los mobiliarios conectados, la central debe recibir la orden de ejecución. Recibida esta última, el bloque Analizador de sonido comienza a muestrear la música ambiente para determinar el volumen de la misma. Cuando el volumen sobrepasa el umbral, comienza a ejecutarse una de las funciones de

color que dispone el sistema, la cual puede estar predeterminada desde la interfaz o ser aleatoria elegida por la central.

El sistema puede funcionar con la interfaz conectada o desconectada. En caso de estar conectada, ésta cuenta con los algoritmos para encargarse del control del estado del mobiliario y de las funciones de color que se ejecuten, dejando a la central solo la tarea de sensado y análisis de sonido. De esta forma, la central desactiva los comandos de la interfaz física y se descomprime y solo necesita avisar a la interfaz ante cualquier cambio ocurrido. Como complemento, al correr sobre una pc, la interfaz dispone de mayores recursos de hardware que permiten la ejecución de funciones con mayor elaboración.

Por otro lado, si se desconecta la interfaz, la central es totalmente capaz de manejar el sistema ya que dispone de las funciones de control y de color necesarias. Las funciones de color son elegidas de forma aleatoria cada vez que se produce un aumento de volumen por sobre el umbral. En adición, puede asignar, a cada mobiliario nuevo que se conecte, un color de forma aleatoria o uno predefinido, dependiendo la configuración que disponga y configurar nuevamente luminarias que se hayan desconectado y reconectado con los datos anteriormente asignados y guardados. A través de la interfaz física, permite también apagar el sistema y prender o apagar el conjunto de luminarias.

La comunicación GSM que dispone la central le brinda la posibilidad de poder prender o apagar las luminarias a distancia enviando un mensaje SMS con la acción requerida. También, a través de este medio, la central puede avisar la desconexión inesperada de alguna de las luminarias del sistema y, si se lo solicita, enviar cual es el elemento faltante

Capítulo 3: Resultados

Mediante el desarrollo expuesto en el presente trabajo, se obtuvo como resultado un sistema que, luego de ser configurado, cuenta con la posibilidad de manejar de forma autónoma sus elementos, como así también, permite al usuario interactuar con ellos mediante interfaces que ofrecen distintas herramientas para tal fin. Como complemento, el control de estado de los diferentes elementos conectados permite disminuir la posibilidad de que estos sean sustraídos del recinto donde se encuentra montado.

Gracias a la utilización de los módulos específicos, se ha logrado que las distintas luminarias se conecten de forma automática a la red del sistema sin necesidad de intervención del usuario más allá de su encendido. De la misma forma, la interfaz lograda presenta una complejidad prácticamente nula para conectar la misma al sistema.

La conexión inalámbrica, bajo el protocolo WIFI empleado, le brinda al producto una amplia cobertura estable, suficiente para cubrir salones completos y colocar los mobiliarios en cualquier lugar de los mismos sin necesidad de línea de vista con la central. Además, la velocidad de transferencia del router permite que, a la percepción del usuario, los cambios de color de las luminarias sean en simultáneo, sin interferir la distancia de cada una a la central o a la fuente de sonido.

Otra ventaja obtenida al utilizar una red WIFI es la seguridad. El router cuenta con un sistema de identificación WAP2, que emplea una contraseña de hasta 63 caracteres entre números, mayúsculas y minúsculas, lo que evita que cualquier dispositivo ingrese a la red y pueda generar problemas. Así mismo, existe la posibilidad de ocultar los datos de la red para que sea vista sólo por los dispositivos previamente configurados.

Respecto al análisis de audio, el algoritmo empleado permite una reacción al beat que posee un retraso máximo de 30 milisegundos, teniendo en cuenta el tiempo de muestreo, de cálculo y de envío de la orden de cambio de color a las luminarias. Así mismo, en las pruebas realizadas con distintos géneros musicales se pudo determinar que es capaz de detectar el beat en un setenta por ciento de los casos, teniendo mejor desempeño en estilos musicales donde se encuentran bien definidas las bajas frecuencias. Por otro lado, detecta el cambio de volumen del sonido ambiente y acciona al respecto diez segundos después de que este se produzca. Esta característica, si bien conlleva un retraso, le ofrece inmunidad a sonidos bruscos que se produzcan en el entorno de la central y que no representan en realidad una suba en el volumen de la música analizada.

La interfaz gráfica obtenida es capaz de administrar los datos de cada luminaria de forma ordenada y de fácil acceso. Además, permite configurar los colores de cada mobiliario individualmente o darle un color general a todo el sistema. Entre sus opciones cuenta con la posibilidad de ajustar todos los parámetros del sistema, como así también, de cambiar en tiempo real los efectos de color que se encuentra desempeñando el sistema y las características de cada uno. La codificación del sistema permite que la interfaz pueda ser introducida en cualquier momento de la ejecución, intercambiando el control del mismo entre la central y ésta de forma transparente para el usuario y sin causar alteraciones apreciables. De forma adicional, la central cuenta con la posibilidad de controlar que la interfaz se encuentre conectada, si ha iniciado conexión anteriormente, y retomar el control del sistema en caso de detectar su faltante, la cual se puede generar por algún desperfecto en el dispositivo donde se encuentre corriendo.

En cuanto al hardware desarrollado en sí, un aspecto importante es su distribución en bloques, lo cual permite realizar actualizaciones o ampliaciones del mismo de manera sencilla y, sumado a su estructura microcontrolada, posee una amplia posibilidad de crecimiento en sus prestaciones, permitiendo agregarle un mayor número de funciones al sistema. De la misma manera, la interfaz gráfica puede ser mejorada y ampliada en sus funcionalidades agregando bloques de código que se combine con el ya escrito.

Capítulo 4: Análisis de Costos

4.1 Costos

En este capítulo se lleva adelante el análisis de los costos que implicó el desarrollo del proyecto. El mismo se realiza haciendo distinción entre los tres grandes bloques que conforman el sistema. A su vez, por cada uno de ellos se diferencian el costo proveniente de la mano de obra dedicada a las etapas de investigación, diseño, prueba, construcción, desarrollo y diagnóstico utilizadas en cada ocasión y los referidos a los materiales empleados.

El valor de los componentes electrónicos, necesario para el análisis, se extrae de la página del proveedor utilizado, Electrónica Elemon S.A.. El catálogo del mismo se encuentra en dólares estadounidenses. Por tal motivo, se utiliza un valor cambiario de un dólar igual a sesenta pesos argentinos. En cuanto a la mano de obra, se consideró los datos brindados por el Colegio de Ingenieros Especialistas de Entre Ríos referidos al honorario mensual mínimo para un Ingeniero con experiencia menor a 5 años y se lo prorrateo por la cantidad de horas laborales mensual, para llegar a un precio de hora hombre cuyo valor es de trescientos pesos. Con el fin de que la explicación no se torne confusa, se excluyen en este capítulo los detalles de los gastos, tanto de materiales como de mano de obra, y se colocan los mismos en el 0, utilizando durante la explicación los montos totales.

Para el bloque Luminarias, se acumula un total de \$11.053,50 en materiales. Este monto incluye dos placas de prueba y las diez empleadas en el prototipo final. En cuanto a mano de obra, se calcula un total de \$22.800,00.

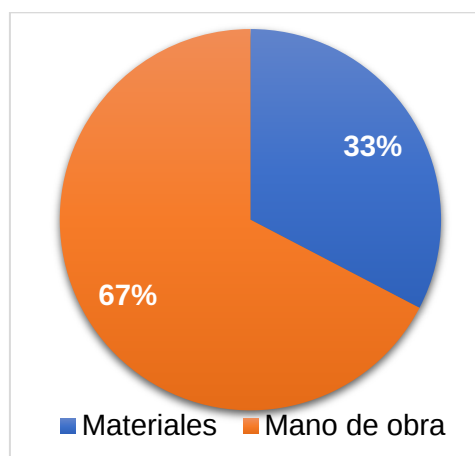


Figura 4.1: Diagrama costos Luminarias

El mismo análisis aplicado al bloque central arroja un costo de materiales de \$5.170,10, mientras que de mano de obra suma un valor de \$39.000,00.

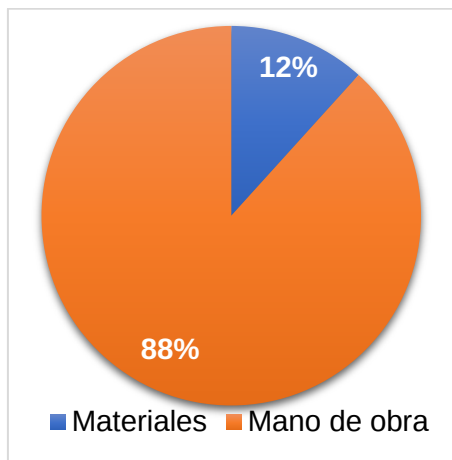


Figura 4.2: Diagrama costos Central

Por último, el bloque interfaz, al estar conformado por una aplicación de software, no incurre en gastos materiales. El gasto de mano de obra, proveniente de las ciento ochenta horas de desarrollo, es de \$54.000,00.



Figura 4.3: Diagrama costos Interfaz

Teniendo en cuenta todo lo hasta aquí mencionado, el proyecto completo tiene un costo que se eleva a \$132.023,60. Este monto se encuentra constituido en un doce por ciento de costos materiales y un ochenta y ocho por ciento de costos provenientes de las horas hombre empleadas en la investigación, programación, diseño y prueba de todo el sistema.

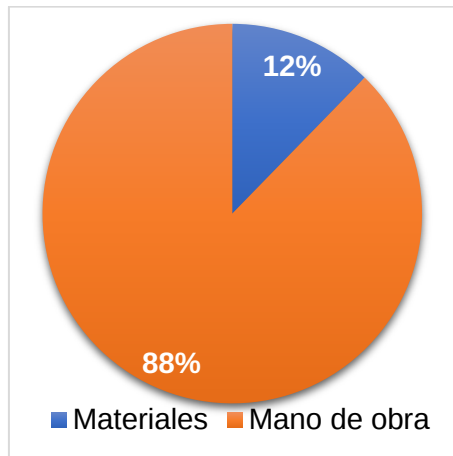


Figura 4.4: Diagrama de costos del sistema completo

Si se diferencian los distintos bloques del sistema, estos costos se encuentran distribuidos, de la siguiente manera.

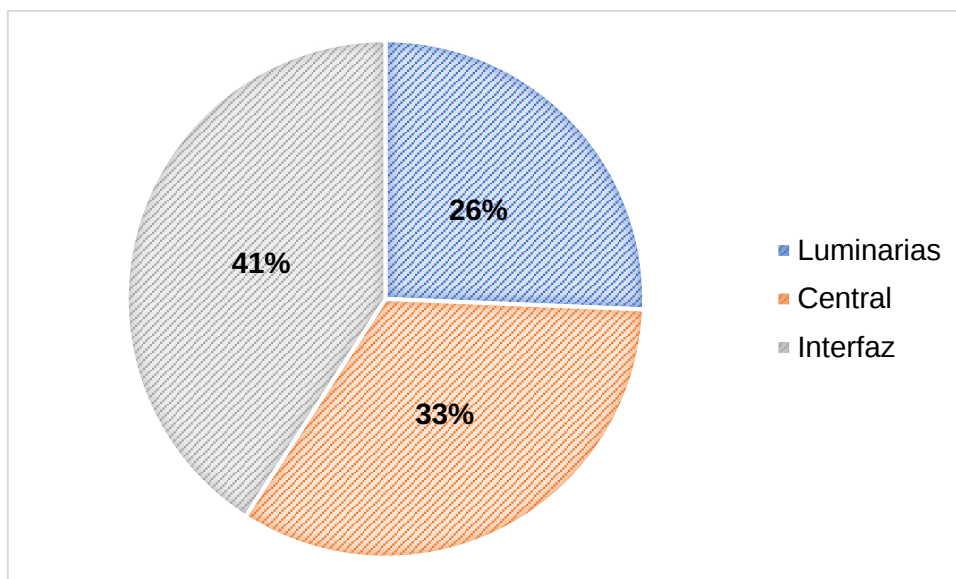


Figura 4.5: Distribución por bloques del costo total

Puede observarse que el desarrollo de la Interfaz es el que mayor impacto tiene en los costos del sistema. Esto es así ya que las pruebas de la misma incluyen la interacción de ésta con los demás bloques, lo cual conlleva ajustes adicionales en estos últimos a medida que se modificaban y mejoraban aspectos referidos a la comunicación, buscando un mejor rendimiento y seguridad de ésta.

4.2 Retorno de la inversión

Tal como se describió anteriormente, se estima una inversión total del proyecto de \$132.023,60. Para analizar la viabilidad del mismo, se realiza un estudio del retorno de

dicha inversión empleando como variables el valor actual neto y la tasa interna de retorno. Como el sistema será empleado con el fin de ser alquilado para eventos, el estudio se basa en las ganancias provenientes del alquiler y no de las ventas del sistema como producto en sí.

Para el cálculo se considera que la ganancia total de un alquiler es un veinte por ciento del monto del mismo y se estima tener tres alquileres del sistema por mes durante cinco años.

Períodos anuales	0	1	2	3	4	5
Inversión	-\$ 132.023,60					
Servicio de alquiler anual		\$384.000	\$422.400	\$464.640	\$511.104	\$562.214,40
Ganancia neta anual		\$76.800	\$84.480	\$92.928	\$102.220,8	\$112.442,88

Tabla 4.1: Valores anuales de inversión y ganancia

Utilizando una tasa de descuento, cuyo valor es obtenido por una profesional del área contable-financiero mediante un análisis que excede la complejidad de dicho trabajo, y tomando en cuenta los valores de ganancia antes expuestos, se obtienen los indicadores de inversión VAN y TIR siguientes.

Tasa de descuento	VAN	TIR
35%	\$ 64.840,77	59%

Tabla 4.2: Indicadores de viabilidad de inversión

Estas mediciones nos indican que el proyecto es rentable y viable, ya que el primer indicador financiero al ser positivo nos indica que el proyecto devuelve la inversión, paga un interés por la misma y queda un excedente, sumado al segundo criterio que indica el rendimiento por cada peso invertido.

Capítulo 5: Discusión y Conclusión

En esta primera versión del producto, se considera que se han cumplido los requisitos mínimos buscados. Se ha logrado un sistema que dispone de la autonomía requerida para manejar y controlar las luminarias sin la presencia de un usuario de forma constante. La toma de decisiones y el control empleado sobre cada mobiliario brindan una sincronización aceptable, basada en una comunicación con mínima pérdida de datos. Como contra partida, la velocidad de esta comunicación es un punto a mejorar para poder lograr una reacción más rápida del conjunto de luminarias y poder así realizar mayor número de efectos. El cuello de botella encontrado durante el desarrollo fue la comunicación serie entre el microcontrolador y el módulo WIFI, es por esto que se propone, para futuras versiones, la utilización de microcontroladores que dispongan de periférico de comunicación WIFI de forma intrínseca.

Otro aspecto buscado del sistema, era una forma sencilla y cómoda para interactuar y configurar el mismo. Esto se ve cubierto con la interfaz gráfica diseñada, la cual brinda la posibilidad de modificar los aspectos de todos los mobiliarios con herramientas de utilización sencilla y conocida por los usuarios de Windows. Sumado a esto, se ha agregado funcionalidades a la interfaz que permiten una visualización rápida de la ubicación de las luminarias dentro del salón. Esto ofrece el beneficio de localizar a simple vista la luminaria con la que se pretenda interactuar o la que presente un problema. Si bien se ha cubierto la necesidad planteada, se tiene presente aportar a la interfaz mejoras en cuanto a los aspectos gráficos y sumarle la posibilidad de almacenar las configuraciones generadas de forma permanente para poder ser visualizadas luego del cierre de la aplicación. Además, se pretende realizar la aplicación para distintos sistemas operativos, para poder utilizarla en dispositivos móviles, quitando la necesidad de contar con una computadora para manejar el sistema.

En cuanto a la integración del conjunto de luminarias al ambiente del evento decorado, mediante la sincronización con la música, se ha conseguido detectar el cambio de volumen del sonido ambiente y que las luminarias cambien de color al mismo tiempo, siguiendo el ritmo musical en estilos musicales donde este se encuentre marcado con gran energía. Este seguimiento es la característica que requiere mayor atención en el sistema, en cuanto a mejoras se refiere ya que presenta aún un comportamiento con un porcentaje de error de alrededor del treinta por ciento. Esto implica el inicio de una investigación más profunda del comportamiento de los niveles dentro de la onda sonora recopilada y de las reacciones que

estas producen en el ser humano, para buscar una detección similar al que posee éste y luego una codificación del bloque analizador de sonido que emule esa respuesta.

Por último, la relación de costos existente entre el sistema desarrollado en el presente trabajo y uno basado en su principal competidor, el Protocolo DMX, lo hace ampliamente competitivo para aplicaciones de bajo requerimiento, como la que impulsa este trabajo. Además, este hecho hace que sea viable continuar con el desarrollo del mismo para lograr aumentar sus prestaciones, ya que posee una gran ventaja competitiva en el aspecto económico.

Capítulo 6: Literatura Citada

Muhammad H. R. (Ed.).(2011). Power electronics handbook: devices, circuits, and applications handbook (Third Edition). Burlington, Estados Unidos: Editorial Elsevier.inc

Mosquera, I. (2013). Influencia de la música en las emociones. Realitas, Revista de Ciencias Sociales, Humanas y Artes, 1(2), 34-38.

IRAM. (1988). Norma IRAM 4074 - Parte I. Medidor de nivel sonoro: Especificaciones generales. Buenos Aires, Argentina: Editorial IRAM.

Dixon S. Automatic extraction of tempo and beat from expressive performances. Journal of New Music Research, 30(1):39–58, 2001.

Casado García, M. E. (s.f). Redes de ponderación. Recuperado de <https://docplayer.es/14344868-Redes-de-ponderacion-acustica.html>

Patin, F. (21 de febrero 2003). Beat Detection Algorithms. Recuperado de https://www.parallelcube.com/wp_install/wp-content/uploads/2018/03/BeatDetectionAlgorithms.pdf

RESOLUCIÓN N° 1289/2016 de DIRECTORIO. (27 de mayo, 2016). Recuperado de <http://www.cieer.org.ar/release/images/documentos/resoluciones/Resolucion%201289-2016.pdf>

RESOLUCION N° 1618/2019 de DIRECTORIO. (25 de octubre,2019). Recuperado de http://www.cieer.org.ar/release/images/documentos/resoluciones/RES%201618_2019%20VALOR%20INGENIO.pdf

Anexo I: Cálculos de componentes

I.1. Circuito luminaria

I.1.1. Fuente

Para el cálculo de la fuente se toma como datos los siguientes.

V_{in} de 13,5 V a 10,5 V

V_{out} de 3,5 V = 3,3 V de caída en el LED más 0,2 V de caída en el transistor

$I_{out(máx)}$ de 1,4 A equivalente a los 4 colores encendidos

f_{min} de 90 kHz frecuencia mínima de trabajo

$V_{ripple(V_{pp})}$ 25 mV de ripple

V_{sat} de 0,7 V del transistor empleado como interruptor

V_F de 0,8V

$$\frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{V_{out} + V_F}{V_{in(min)} - V_{sat} - V_{out}} = 0,683$$

$$t_{on(máx)} + t_{off} = \frac{1}{f_{min}} = 1,11 * 10^{-5} s$$

$$t_{off} = \frac{t_{on(máx)} + t_{off}}{\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1} = 6,6 * 10^{-6} s$$

$$t_{on(máx)} = \frac{1}{f_{min}} - t_{off} = 4,5 * 10^{-6} s$$

$$C_T = 4.0 * 10^{-5} t_{on} = 180 pf$$

$$I_{pk(switch)} = 2I_{out} = 2,8A$$

$$L_{min} = \frac{V_{in(min)} - V_{sat} - V_{out}}{I_{pk(switch)}} t_{on(máx)} = 10 \mu H$$

$$C_o = \frac{I_{pk(switch)}(t_{on} + t_{off})}{8 V_{ripple(V_{pp})}} = 164,7 \mu F$$

$$V_{out} = 1.25 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

$$LED_{REGULADOR_{R1 máx}} = \frac{1,25 V}{100 \mu A} = 12,5 K\Omega$$

Si tomamos R1 de 12KΩ de valor comercial

$$LED_{REGULADOR_{R2}} = LED_{REGULADOR_{R1}} \left(\frac{V_{out}}{1,25} - 1 \right) = 21,6 K\Omega$$

I.1.1. Circuitos aledaños al microcontrolador

En este apartado se calculan las resistencias que adaptan las señales a los niveles de tensión aceptados por los elementos y limitan la corriente de las salidas del microcontrolador.

Para los transistores que funcionan de interruptor de los canales del led, se tiene en cuenta una salida de 5V proveniente del microcontrolador y limitada a 25 mA. Esto permite calcular la resistencia de base teniendo a consideración la caída base-emisor del transistor igual a 0,7V.

$$R_{b(\min)} = \frac{5V - 0,7V}{25 \text{ mA}} = 172\Omega$$

Para adaptar los 5V provenientes del pin Tx del microcontrolador a los 3,3V aceptados por el pin Rx del módulo.

$$V_{rx} = \frac{R_{X_DIVISOR_2}}{R_{X_DIVISOR_1} + R_{X_DIVISOR_2}} V_{tx}$$

Si tomamos $R_{X_DIVISOR_2} = 3,6 \text{ K}\Omega$

$$V_{X_DIVISOR_1} = R_{X_DIVISOR_2} \frac{V_{tx}}{V_{rx}} - R_{X_DIVISOR_2} = 1,85\text{K}\Omega \approx 1,8\text{K}\Omega$$

En cuanto al divisor resistivo necesario para adaptar la tensión de batería a la entrada del A/D, se emplea un valor alto de resistencia para minimizar la corriente circulante y así el consumo innecesario. Se decide llevar la tensión de entrada a un valor por la mitad de lo aceptado en el conversor, para permitir que todo el rango de variación de la batería ingrese por debajo de los 5V, sin exceder los límites. Si consideramos que la tensión media de la batería es de 12V y que disponemos de resistencias de 22K por los circuitos empleados en la fuente.

$$V_{A/D} = \frac{R_{BATERIA_DIVISOR_RB}}{R_{BATERIA_DIVISOR_RA} + R_{BATERIA_DIVISOR_RB}} V_{in}$$

$$R_{BATERIA_DIVISOR_RA} = R_{BATERIA_DIVISOR_RB} \frac{V_{in}}{V_{A/D}} - R_{BATERIA_DIVISOR_RB} = 83,6\text{K}\Omega \approx 82\text{K}\Omega$$

Con estos valores obtenemos un rango de variación cuyos límites son:

$$V_{A/D} = \frac{R_{BATERIA_DIVISOR_RB}}{R_{BATERIA_DIVISOR_RA} + R_{BATERIA_DIVISOR_RB}} V_{in(\min)} = 2,22V$$

$$V_{A/D} = \frac{R_{BATERIA_DIVISOR_RB}}{R_{BATERIA_DIVISOR_RA} + R_{BATERIA_DIVISOR_RB}} V_{in(m\acute{a}x)} = 2,85V$$

I.2. Circuito Central

I.2.1. Fuente

La fuente de tensión positiva de la central se calcula de igual manera que la fuente de la luminaria.

V_{in} de 13,5 V a 10,5 V

V_{out} de 5 v

$I_{out(m\acute{a}x)}$ de 0,5A

f_{min} de 90 kHz frecuencia mínima de trabajo

$V_{ripple}(V_{pp})$ 25 mV de ripple

V_{sat} de 0,7 V del transistor empleado como interruptor

V_F de 0,8V

$$\frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{V_{out} + V_F}{V_{in(m\acute{i}n)} - V_{sat} - V_{out}} = 1,21$$

$$t_{on(m\acute{a}x)} + t_{off} = \frac{1}{f_{min}} = 1,11 * 10^{-5} s$$

$$t_{off} = \frac{t_{on(m\acute{a}x)} + t_{off}}{\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1} = 5,04 * 10^{-6} s$$

$$t_{on(m\acute{a}x)} = \frac{1}{f_{min}} - t_{off} = 6,07 * 10^{-6} s$$

$$C_T = 4.0 * 10^{-5} t_{on} = 240 pf$$

$$I_{pk(switch)} = 2I_{out} = 1A$$

$$L_{min} = \frac{V_{in(m\acute{i}n)} - V_{sat} - V_{out}}{I_{pk(switch)}} t_{on(m\acute{a}x)} = 29,2 \mu H$$

$$C_o = \frac{I_{pk(switch)}(t_{on} + t_{off})}{8 V_{ripple}(V_{pp})} = 55,55 \mu F$$

La tensión de salida se ajusta a través del potenciómetro POSITIVO_REG.

En cuanto a la fuente negativa, los cálculos son los siguientes.

V_{in} de 13,5 V a 10,5 V

V_{out} de - 5 v

$I_{out(máx)}$ de 0,5 A

f_{min} de 90 kHz frecuencia mínima de trabajo

$V_{ripple(V_{pp})}$ 25 mV de ripple

V_{sat} de 0,7 V del transistor empleado como interruptor

V_F de 0,8V

$$\frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{|V_{out}| + V_F}{V_{in(min)} - V_{sat}} = 0,592$$

$$t_{on(máx)} + t_{off} = \frac{1}{f_{min}} = 1,11 * 10^{-5} s$$

$$t_{off} = \frac{t_{on(máx)} + t_{off}}{\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1} = 6,98 * 10^{-6} s$$

$$t_{on(máx)} = \frac{1}{f_{min}} - t_{off} = 4,13 * 10^{-6} s$$

$$C_T = 4.0 * 10^{-5} t_{on} = 165 pf$$

$$I_{pk(switch)} = 2I_{out} = 1,59A$$

$$L_{min} = \frac{V_{in(min)} - V_{sat} - V_{out}}{I_{pk(switch)}} t_{on(máx)} = 25,4 \mu H$$

$$C_o = \frac{I_{pk(switch)}(t_{on} + t_{off})}{8 V_{ripple(V_{pp})}} = 88,43 \mu F$$

La tensión de salida se ajusta a través del potenciómetro NEGATIVO_REG.

Los filtros empleados fueron diseñados con la herramienta de cálculo Filter Solution 2009, partiendo de un filtro pasabajo de tercer orden tipo Butterworth que tiene una frecuencia de corte de 2 Hz y adaptando los componentes a los valores disponibles al momento del desarrollo.

El filtro de entrada dispone de la siguiente forma y respuesta.

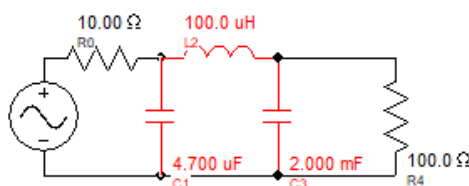


Figura I.1: Forma final del filtro de entrada

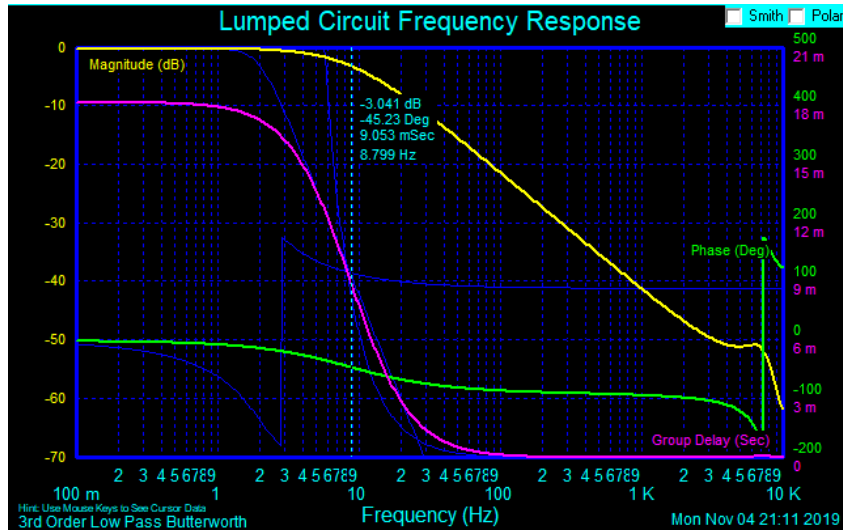


Figura I.2: Respuesta en frecuencia del filtro de entrada

Se puede observar que la frecuencia de corte obtenida es de 8,8 Hz y se dispone de una caída de un poco más de 20 db por década, acentuándose luego de los 10 KHz.

Los filtros de salida de las fuentes, por su parte, tuvieron un cálculo similar. Los resultados obtenidos son los siguientes.

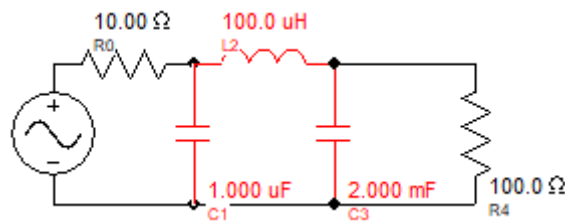


Figura I.3: Forma final del filtro de salida

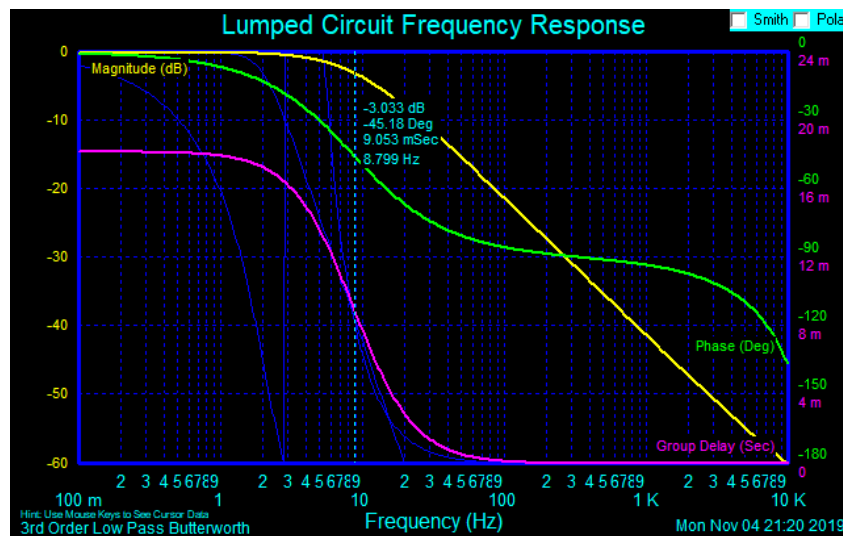


Figura I.4: Respuesta en frecuencia del filtro de salida

Anexo II: Circuitos completos

II.1. Luminaria

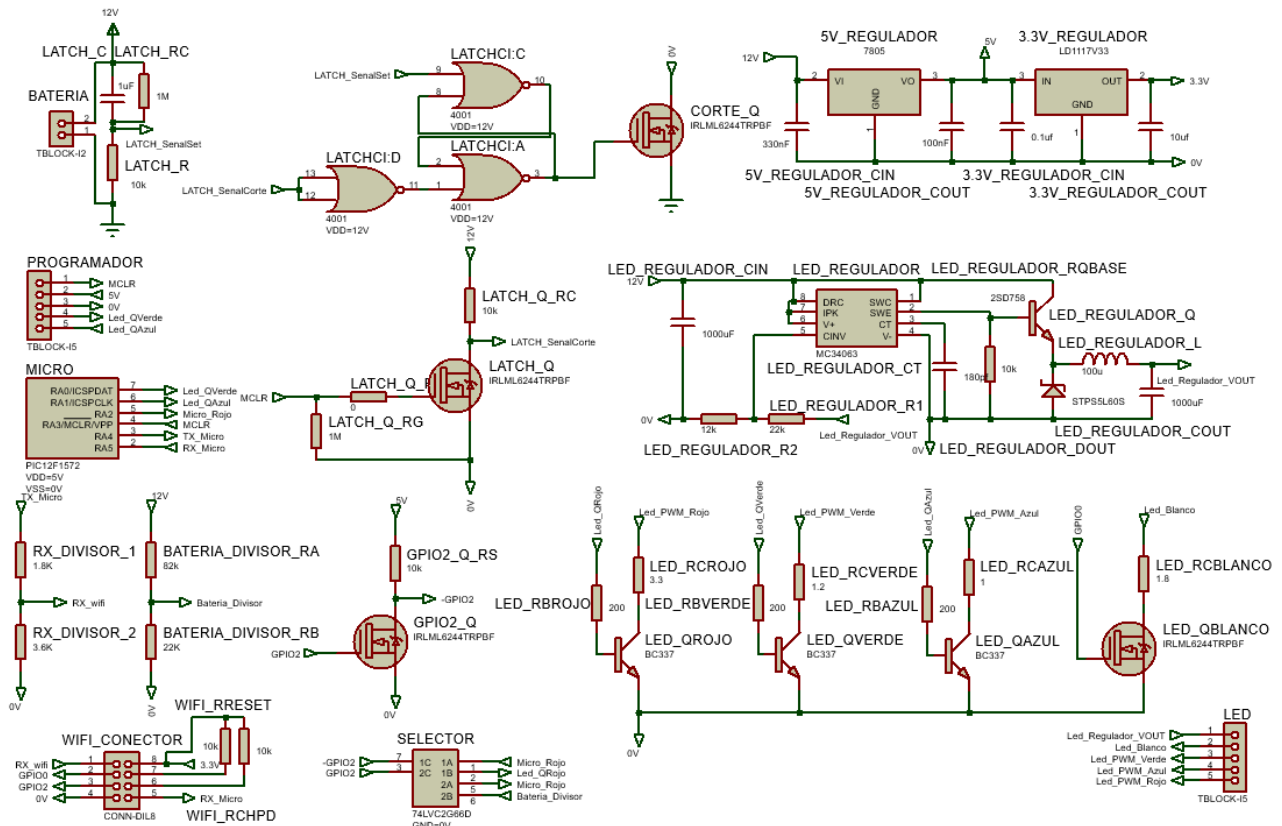


Figura II.1: Circuito esquemático Luminaria

II.2. Central

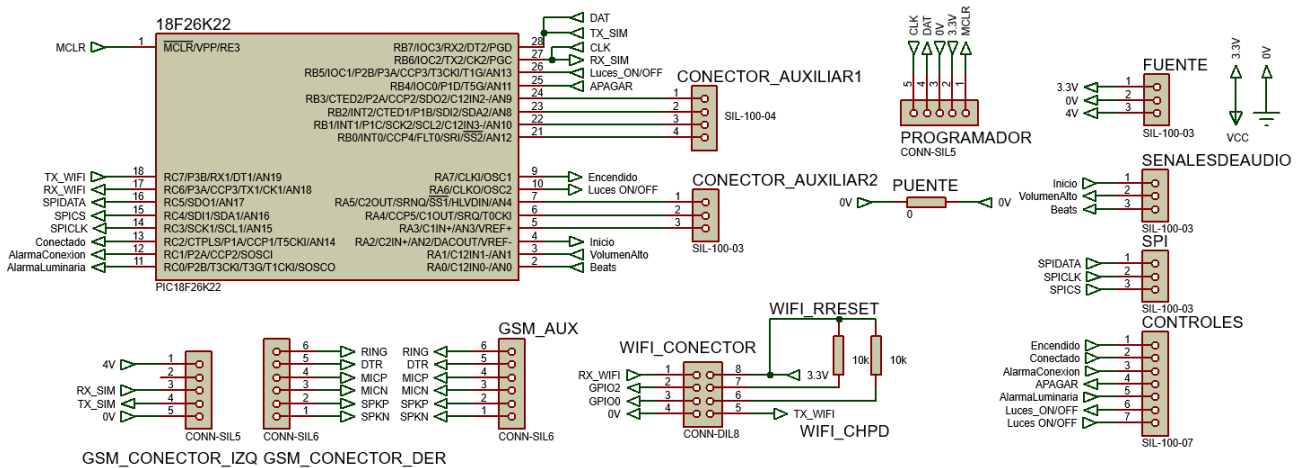


Figura II.2: Circuito esquemático Control-Central

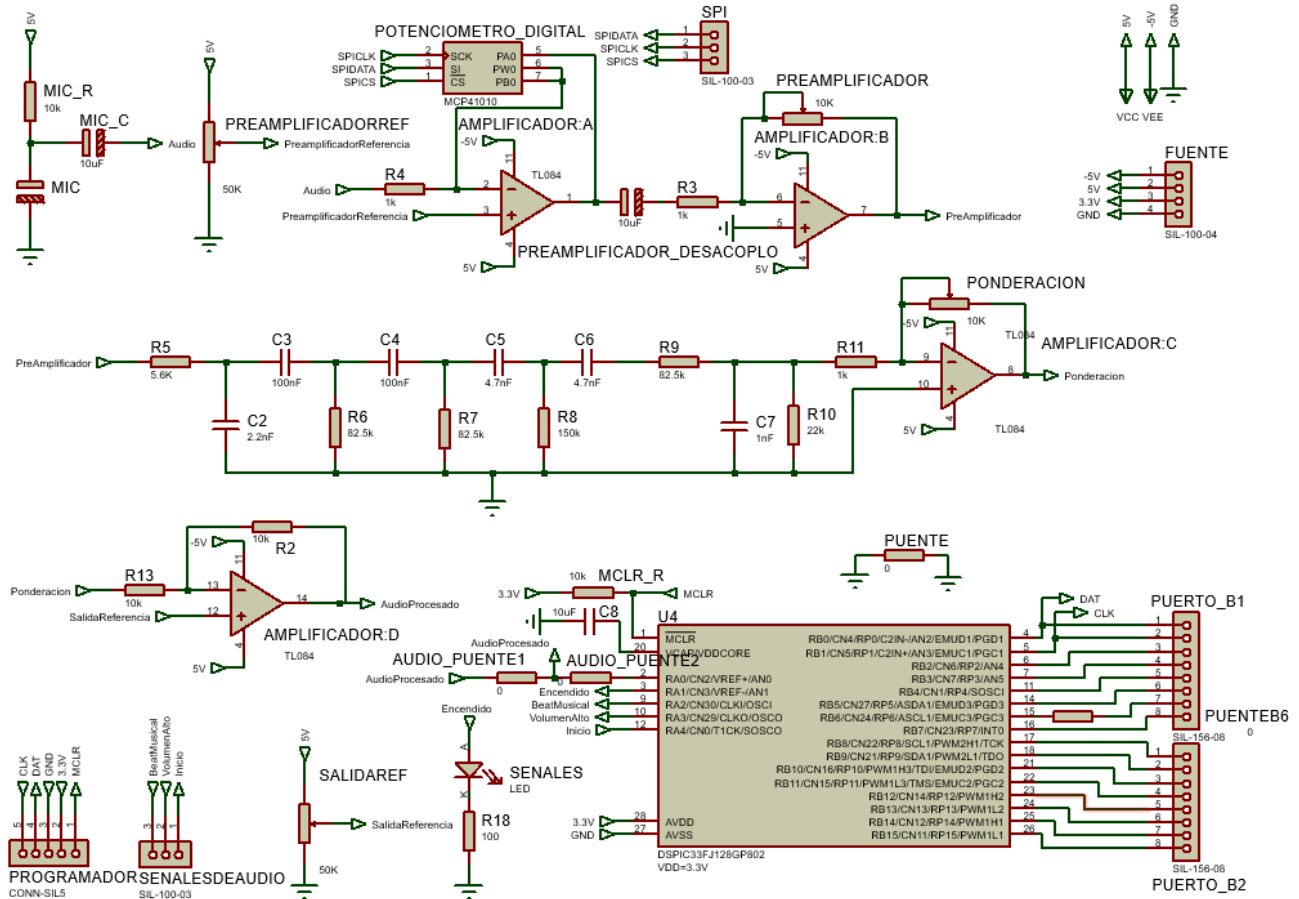


Figura II.5: Circuito esquemático Analizador de sonido-Centra

Anexo III: Detalle de gastos

Costos materiales	Precio	Cantidad	Tipo de cambio	Total
Componentes electrónicos Prototipo pruebas	\$ 9,90	2	\$ 60,00	\$ 1.188,00
Componentes electrónicos Prototipo final	\$ 10,33	10	\$ 60,00	\$ 6.198,00
Módulo WIFI	\$ 297,00	10	\$ 1,00	\$ 2.970,00
Led RGBW 4W	\$ 45,00	10	\$ 1,00	\$ 450,00
Hojas para impresión de circuitos	\$ 2,00	3	\$ 1,00	\$ 6,00
Ácido cloruroférico	\$ 345,00	0,7	\$ 1,00	\$ 241,50
Total Materiales				\$ 11.053,50
Costos de mano de obra		Cantidad	Valor hora hombre	Total
Investigación		16	\$ 300,00	\$ 4.800,00
Diseño y cálculo		20	\$ 300,00	\$ 6.000,00
Prueba		10	\$ 300,00	\$ 3.000,00
Construcción		10	\$ 300,00	\$ 3.000,00
Mejoras al primer prototipo		20	\$ 300,00	\$ 6.000,00
Total Mano de obra				\$ 22.800,00
TOTAL BLOQUE				\$ 33.853,50

Tabla III.1: Detalle de costos bloque Luminarias

Costos materiales	Precio	Cantidad	Tasa de cambio	Total
Componentes electrónicos Fuente central	\$ 11,91	1	\$ 60,00	\$ 714,60
Componentes electrónicos Central	\$ 12,05	1	\$ 60,00	\$ 723,00
Componentes electrónicos Analizador de sonido	\$ 22,45	1	\$ 60,00	\$ 1.347,00
Módulo WIFI	\$ 297,00	1	\$ 1,00	\$ 297,00
Módulo GPRS	\$ 481,00	1	\$ 1,00	\$ 481,00
Router	\$ 1.300,00	1	\$ 1,00	\$ 1.300,00
Impresión de carcaza	\$ 200,00	1	\$ 1,00	\$ 200,00
Hojas para impresión de circuitos	\$ 2,00	2	\$ 1,00	\$ 4,00
Ácido cloruroférico	\$ 345,00	0,3	\$ 1,00	\$ 103,50
Total materiales				\$ 5.170,10
Costos de mano de obra		Cantidad	Valor hora hombre	Total
Investigación		30	\$ 300,00	\$ 9.000,00
diseño y cálculo		30	\$ 300,00	\$ 9.000,00
Prueba		60	\$ 300,00	\$ 18.000,00
Construcción		10	\$ 300,00	\$ 3.000,00
Diseño de carcaza		3	\$ 300,00	\$ 900,00

Total Mano de obra	\$ 39.000,00
TOTAL ETAPA	\$ 44.170,10

Tabla III.2: Detalle de costos bloque Central

Costo de mano de obra	Cantidad	Valor hora hombre	Total
Investigación y lectura	10	\$ 300,00	\$ 3.000,00
Programación y desarrollo	50	\$ 300,00	\$ 15.000,00
Diseño y programación	20	\$ 300,00	\$ 6.000,00
Prueba	100	\$ 300,00	\$ 30.000,00
TOTAL ETAPA			\$ 54.000,00

Tabla III.3: Detalle de costos bloque Interfaz

Prototipo pruebas- Costo de componentes electrónicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Importe
100NFX50V Y5V 20%. P2.54MM CER.MUL R=CA3259434	1	0.03758	0.04
180PFX50V NP0 5% CER.MULT. SMD 0805	1	0.01500	0.02
1UFX16V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	2	0.01877	0.04
10UFX16V 20%. 5x5.3 ELE.RAD.SMD	1	0.22347	0.22
330UFX16V 20%. 8x10 ELE.RAD.SMD	1	0.31920	0.32
100UFX35V 20%. 6.3x8 ELE.RAD.SMD	1	0.22000	0.22
LD1117S33TR SMD SOT-223-3 0.8A 3.3V LOW DROPOUT LINEAR REGULATOR	1	0.34999	0.35
MC34063ACD SOIC8.SMD DC-DC.CONV.CONT.CIRC.	1	0.61194	0.61
74LVCG2G66D SSOP-8 DUAL BILATERAL ANALOG SWITCH	1	0.52000	0.52
POSTE RECTO 5C P=2.54MM HD1X05-H	1	0.02100	0.02
HE DF VERT 2X4C P/C.IMP 2.54M 215308-4	1	0.84404	0.84
MA-02 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-2	1	0.06375	0.06
MA-04 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-4	1	0.07753	0.08
STPS5L60S DIODO SCHOTTKY 5A 60V SMC	1	0.37499	0.37
100UHY 0.16R 1.6A RAD. 10X12MM	1	0.81204	0.81
PIC12F1572-I/P 4KB Flash, 256 bytes RAM 8 DIP	1	160.997	1.61
0E 5% 0805 1/8W RES.SMD	3	0.00560	0.02
100E 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
10K 5% 0805 1/8W RES.SMD	6	0.00560	0.03
12K 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
22K 5% 0805 1/8W RES.SMD	2	0.00560	0.01
82K 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
100E 5% R-25X 1/4W (2.5X6.8)	3	0.01397	0.04
3.3E 5% R-50X 1/2W 2.9X7	1	0.00991	0.01
BC337-25 TRA.NPN 50V0.8A 0.625W TO92	3	0.05206	0.16
BC847B TRA.NPN 45V0.2A 0.25W SOT23 *R=TR1723043	1	0.03255	0.03

2SD882P TRA.NPN 40V3A 12.5W SWIT TO126	1	0.20220	0.20	
ESTAÑO 20g 0.5MM 60%SN 40%PB EXIMETAL	1	12.616	1.26	
IRLML6244TRPBF MOSFET N 20V6.3A 0.021E 1.3W SOT23	2	0.21292	0.43	
PLACA FENOLICA FR-2 S/F 30x100mm E=1.60mm	1	0.0859	0.09	
			Subtotal	\$ 8,44
			IVA 10,5%	\$ 0,64
			IVA 21%	\$ 0,82
			TOTAL USD	\$ 9,90

Tabla III.4: Costos dispositivos electrónicos prototipo Luminaria

Prototipo final- Costo componentes electrónicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Importe
100NFX50V Y5V 20%. P2.54MM CER.MUL R=CA3259434	1	0.03758	0.04
180PFX50V NP0 5% CER.MULT. SMD 0805	1	0.01500	0.02
1UFX16V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	2	0.01877	0.04
10UFX16V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	1	0.04735	0.04
100NFX50V Y5V +/-20%. P2.54 CER.MUL BULK	1	0.02747	0.03
330NFX50V Y5V +/-20%. P2.54 CER.MUL BULK	1	0.02747	0.03
1000UFX6.3V 105°C 8X12 ELE.RAD AISHI	1	0.08599	0.09
1000UFX16V 105°C 10x16 ELE.RAD AISHI	1	0.10810	0.11
LD1117S33TR SMD SOT-223-3 0.8A 3.3V LOW DROPOUT LINEAR REGULATOR	1	0.34999	0.35
MC34063ACD SOIC8.SMD DC-DC.CONV.CONT.CIRC.	1	0.61194	0.61
74LVC2G66D SSOP-8 DUAL BILATERAL ANALOG SWITCH	1	0.52000	0.52
POSTE RECTO 5C P=2.54MM HD1X05-H	1	0.02100	0.02
HE DF VERT 2X4C P/C.IMP 2.54M 215308-4	1	0.84404	0.84
MA-02 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-2	1	0.06375	0.06
MA-05 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-4	1	0.07753	0.08
STPS5L60S DIODO SCHOTTKY 5A 60V SMC	1	0.37499	0.37
100UHY 0.16R 1.6A RAD. 10X12MM	1	0.81204	0.81
PIC12F1572-I/P 4KB Flash, 256 bytes RAM 8 DIP	1	160.997	1.61
0E 5% 0805 1/8W RES.SMD	3	0.00560	0.02
100E 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
10K 5% 0805 1/8W RES.SMD	6	0.00560	0.03
12K 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
22K 5% 0805 1/8W RES.SMD	2	0.00560	0.01
82K 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
100E 5% R-25X 1/4W (2.5X6.8)	3	0.01397	0.04
1E 5% R-25X	1	0.01397	0.01
1.5E 5% R-50X 1/2W 2.9X6	1	0.01397	0.01

1.8E 5% R-25X 0.33W 2.4X6	1	0.01397	0.01
3.3E 5% R-50X 1/2W 2.9X7	1	0.00991	0.01
BC337-25 TRA.NPN 50V0.8A 0.625W TO92	3	0.05206	0.16
L7805CDT DPACK 3-TERMINAL.1A-5V.POSITIVE.VOLTAGE.REGULATORS	1	0.49400	0.49
2SD882P TRA.NPN 40V3A 12.5W SWIT TO126	1	0.20220	0.20
ESTAÑO 20g 0.5MM 60%SN 40%PB EXIMETAL	1	12.616	1.26
IRLML6244TRPBF MOSFET N 20V6.3A 0.021E 1.3W SOT23	4	0.21292	0.83
PLACA FENOLICA FR-2 S/F 30x100mm E=1.60mm	1	0.0859	0.09
Subtotal			8,87
IVA 10,5%			0,64
IVA 21%			0,82
TOTAL USD			10,330

Tabla III.5: Costos dispositivos electrónicos Luminaria final

Componentes electrónicos Central			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Importe
HE-SF VERT 1X5C P/C.IMP.2.54MM 203-S105	1	0.10398	0.1
HE SF VERT 1X6C P/C.IMP.2.54MM 215298-6 *OM=3360u.	1	0.87900	0.87
HE DF VERT 2X4C P/C.IMP 2.54M 215308-4	1	0.84404	0.85
POSTE RECTO 5C P=2.54MM HD1X05-H	1	0.02100	0.02
MA-03 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-3	3	0.07039	0.22
MA-07 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-4	1	0.14818	0.15
PIC18F26K22-I/SP 64KB, Flash, 3968bytes-RAM 28SPDIP	1	716.003	7.16
0E 1% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00676	0.01
100E 5% 0805 1/8W RES.SMD	5	0.00556	0.03
10K 5% 0805 1/8W RES.SMD	4	0.00558	0.02
TAC-SWITCH 4CONT.6X6MM (13MM)	2	0.11229	0.22
LED 3MM VERDE DIF 200mcd 40° 204-10SYGT/S530-E2 PATAS 14MM	5	0.08271	0.41
Subtotal			10,06
IVA 10,5%			1,17
IVA 21%			0,82
TOTAL USD			12,05

Tabla III.6: Costos dispositivos electrónicos subbloque Control-Central

Componentes electrónicos Analizador de sonido			
Descripción	Cantidad	Precio	Importe
2.2NFX50V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	1	0.00999	0.01
4.7NFX50V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	2	0.01280	0.02
100NFX50V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	2	0.02036	0.04

10UFX10V X5R 10% CER.MULT. SMD 0805	1	0.04735	0.05
10UFX16V 20%. 4 X 5.5mm ELE.RAD.SMD	2	0.21327	0.43
TL084CDT SOIC14.SMD J-FET.INPUT.QUAD.OP-AMP	1	0.39778	0.40
MCP41010-I/P DIP8 Single.Digital.Potentiometer.w/SPI.Interface.(10 k)	1	258.641	2.59
POSTE RECTO 5C P=2.54MM HD1X05-H	1	0.02100	0.02
MA-03 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-3	2	0.07039	0.14
MA-04 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-4	1	0.07753	0.08
DSPIC33FJ128GP802-I/SP 28 SPDIP 16-bit DSC, 128KB Flash,CAN,DMA	1	1.240.414	12.40
10KE 25 VUELTAS 3296W/67W/64W 10% .50W	2	0.72282	1.45
50KE 25 VUELTAS 3296W/67W/64W 10% .50W	2	0.72284	1.45
0E 1% 0805 1/8W RES.SMD	4	0.00676	0.03
100E 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00556	0.01
1K 5% 0805 1/8W RES.SMD	3	0.00558	0.02
5.6K 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
10K 5% 0805 1/8W RES.SMD	4	0.00558	0.02
22K 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
82K 5% 0805 1/8W RES.SMD	2	0.00560	0.01
150K 5% 0805 1/8W RES.SMD	1	0.00560	0.01
LED 3MM VERDE DIF 200mcd 40° 204-10SYGT/S530-E2 PATAS 14MM	1	0.08271	0.08
		Subtotal	19,28
		IVA 10,5%	1,02
		IVA 21%	2,15
		TOTAL USD	22,45

Tabla III.7: Costos dispositivos electrónicos subbloque Analizador de sonido-Central

Componentes electrónicos Fuente Central			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Importe
180PFX50V NP0 5% CER.MULT. SMD 0805	3	0.01500	0.05
6.8NFX50V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	1	0.01500	0.02
100NFX50V X7R 10% CER.MULT. SMD 0805	5	0.02036	0.10
1000UFX6.3V 105°C 8X12 ELE.RAD AISHI	2	0.08599	0.17
2200UFX16V 105°C 12.5x20 ELE.RAD AISHI	1	0.25537	0.25
1UFX50V 105°C 5x11 ELE.RAD AISHI	2	0.02567	0.05
10UFX10V X5R 10% CER.MULT. SMD 0805	1	0.04735	0.05
LD1117S33TR SMD SOT-223-3 0.8A 3.3V LDO LINEAR REGULATOR	1	0.34999	0.35
MC34063ACD SOIC8.SMD DC-DC.CONV.CONT.CIRC.	2	0.37500	0.75
LM2596S-ADJ/NOPB D2PACK5 SIMPLE.SWITCHER	1	420.000	4.20
MA-02 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-2	2	0.06375	0.13

MA-03 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-3	1	0.07039	0.07
MA-04 MTA.100 VERT. P=2.54 640456-4	1	0.07753	0.08
SS14 DIODO SCHOTTKY 1A 40V DO214 SMA	2	0.06825	0.13
STPS5L60S DIODO SCHOTTKY 5A 60V SMC * Pedir cotización	1	0.37499	0.37
47UHY 0.17R 0.96A RAD. 8X9.5MM	3	0.32838	0.99
100UHY 0.33R 0.66A RAD. 8X9.5MM	2	0.32838	0.65
100UHY 0.16R 1.6A RAD. 10X12MM	1	0.81204	0.81
5KE 18MM VERT. 20% 0.25W P=5MM	3	0.25645	0.77
		Subtotal	9,99
		IVA 10,5%	0,18
		IVA 21%	1,74
		TOTAL USD	11,91

Tabla III.8: Costos dispositivos electrónicos subbloque Fuente-Central

Anexo IV: Identificadores de trama

Identificador	Orden	Datos necesarios y ubicación
2	ONOFF	Estado lumínico deseado: '0' = Apagado '7'=Prendido
~	EJECUCION	Banderas de estado
ã	STOP	-
6	NIVELDEBATERIA	-
;	ESTADODECONEXION	-
@	CAMBIODECOLOR	Colores. <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">B</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">W</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-left: 5px;">Indicador de Aleatorio</div> </div> Colores RGB valor de 0 a 255 Color W: '0' Apagado '1' Prendido
E	GUARDARCOLOR	Estado lumínico por defecto
J	RESTABLECER	-
O	APAGARSISTEMA	-
T	ENVIARCOLOR	-
Ñ	GUARDARIP	Ip del mobiliario que pide conexión Valor: 0 a 255
«	CONECTARINTERFAZ	-
ç	ENVIARDATOS	-
Æ	LUMINARIADESCONECTA	IP de la luminaria desconectada
T	MANDARLUMINARIAS	-

Tabla IV.1: Identificadores de acciones que intercambia el sistema

Identificador	Orden
■	ESTADOANTERIOR
1	STANDBY
X	COMPARADORDENIVEL
Y	FUNDIDO
^	ALEATORIO
c	ALEATORIODISTINTO
h	FLASH
ò	CONECTAR
Ü	DESCONECATADO
f	CONEXIÓN
®	GUARDARIPYCOLOR
©	GUARDARDATOS
ç	ENVIARDATOS
	DESCONECTARINTERFAZ

Tabla IV.2: Ordenes internas

Identificador	Tipo de datos	Datos necesarios
#	INDICADORDECONEXION	Desde interfaz: indicador de estado de datos Desde central: -
%	PEDIDODECONEXIONCONCOLORES	-
'	PEDIDODECONEXIONSINCOLORES	-
=	INDICADORDEDATOS	Datos enviados desde luminaria <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Estado lumínico</div> R . G . B . W Intercambio de datos entre interfaz y central <div style="display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Tipo</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">IP</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">,</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Estado conexión</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Estado Lumínico</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">R . G . B . W</div> </div>
)	INDICADORDEESTADO	Estado de luminaria
+	INDICADORDEBATERIA	Nivel de batería. Valor de 10 bits formado por dos bytes
-	INDICADORDERECEPCION	-
/	DESCONEXIONINTERFAZ	Banderas de funciones
?	INICIODEDATOS	-
Z	FINALDEDATOS	-
.	GUARDARTIEMPO	Valor de tiempo
Ý	CAMBIARVOLUMEN	Valor de volumen 0 a 255 Para guardar incluye la orden GUARDARDATOS

Tabla IV.3: Identificadores de datos

Valor	Característica
Î	BEATMUSICAL
÷	NIVELALTOMUSICAL
Ê	NIVELBAJOMUSICAL

Tabla IV.4: Identificadores de música

Valor	Característica
ß	LUMINARIAALERTA
µ	LUMINARIAOK
Û	LUMINARIAAPAGADAPORBATERIA
P	LUMINARIAPRENDIDA
I	LUMINARIAAPAGADA

Tabla IV.5: Identificadores de estado de luminaria

Anexo V: Comandos AT

Secuencia	Descripción	Respuesta
ATE	Se utiliza para probar la comunicación con el módulo y para apagar el reenvío de la instrucción recibida por el módulo al solicitante. ATE0: Apaga el eco. ATE1: Enciende el eco.	OK ERROR
AT+CIPSTATUS	Se emplea para conocer el estado de conexión a la red	STATUS:<estado> <ul style="list-style-type: none"> • 2: el módulo se encuentra conectado a la red y tiene un IP asignado • 3: el módulo dispone de una comunicación UDP abierta • 4: se ha cerrado la comunicación UDP • 5: el módulo se encuentra desconectado de la red
AT+CIPSTART	Establece la transmisión UDP abriendo el puerto de escucha AT+CIPSTART=<tipo>,<IP remota>,<puerto remoto>,<puerto local>	OK - conexión establecida ERROR - problema de conexión ALREADY CONNECTED - si ya se encuentra abierta la transmisión
AT+CIPSEND	Envía los datos adjuntos -AT+CIPSEND=<cantidad de bytes>,<IP remota>,<puerto remoto> Módulo envía '>' - Datos	ERROR - Error de conexión SEND OK - Envío exitoso SEND FAIL - Falla de transmisión
AT+CIPDINFO	Indica si el módulo debe mostrar junto a los datos recibidos la información del remitente. AT+CIPDINFO=<parámetro> Parámetro <ul style="list-style-type: none"> • 1 Mostrar información • 0 Ocultar información 	OK ERROR
+IPD	Indicador de recepción de datos por parte del módulo +IPD,<Cantidad de bytes>,<IP remota>,<puerto remoto>:<Datos>	-
AT+SYSIOSETCFG	Configura los pines AT+SYSIOSETCFG=<pin>,<modo>,<pull-up> Modo=0, pin es GPIO Pull up <ul style="list-style-type: none"> • 0 apagadas • 1 activas 	OK ERROR
AT+SYSGPIODIR	Configura el tipo de GPIO AT+SYSGPIODIR=<pin>,<dir> dir	OK ERROR

	<ul style="list-style-type: none"> • 0 entrada • 1 salida 	
AT+SYSGPIOWRITE	Escribe sobre un GPIO configurado como salida T+SYSGPIOWRITE=<pin>,<Estado>	OK ERROR

Tabla V.1: Comandos AT utilizados con el módulo ESP8266 Esp-1

Secuencia	Descripción	Respuesta
ATE	Se utiliza para probar la comunicación con el módulo y para apagar el reenvío de la instrucción recibida por el módulo al solicitante. ATE0: Apaga el eco. ATE1: Enciende el eco.	OK ERROR
AT+CMGS	Envía los datos adjuntos -AT+CMGS=<Numerodestino> Módulo envía '>' - Datos+<CR>	ERROR - Error de conexión +CMGS: <mr> +CMS ERROR: <err>
AT+CSDH	Indica si el módulo debe mostrar junto a los datos recibidos la información del remitente. AT+CSDH=<parámetro> Parámetro <ul style="list-style-type: none"> • 1 Mostrar información • 0 Ocultar información 	OK ERROR
+CMT:	Indicador de recepción de datos por parte del módulo +CMT:<Número remitente>,<Cantidad de Bytes> <Datos>	-

Tabla V.2: Comandos AT utilizados con el módulo SIM800L