



FACULTAD DE INGENIERÍA

## TRABAJO FINAL ELECTRÓNICA

Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

Facultad de Ingeniería

Departamento de Electrotecnia

Cátedra de Proyecto Final Electrónica

## Comunicación digital a través de la línea de 220V

Autor: Julio Nicolas Esteban

Nro. de alumno: 65673/3

Directores: Jorge Osio

Walter Aróztegui



# Cátedra de Proyecto Final – Electrónica

-modalidad con Director-

**Departamento de Electrotecnia**

**Facultad de Ingeniería**

**Universidad Nacional de La Plata**



***Denominación del Trabajo Final:***

***Grupo de trabajo:***

Nº de alumno

Nombre y Apellido

Calificación

***Lugar(es) de realización:***

***Director (es)***

***Subdirector(es)***

***Colaborador (es)***

***Integrantes de la mesa examinadora (Firma y Aclaración):***

***Comentarios sobre el trabajo***

**Referencia Biblioteca:**

**Fecha:**

Este trabajo va dedicado a todos aquellos que confiaron en mi, y en especial a mi abuela y  
a mi querida Elisa Lo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a toda la gente del CETAD y en particular a Jorge Osio y Wáter Aróztegui por su apoyo y acompañamiento. También le agradezco a la cátedra de trabajo final por su buena atención y consejos durante todo el proceso. Por último, agradezco a el conjunto de docentes y no docentes de la UNLP que generan que la universidad pública y en este caso la facultad de ingeniería tenga el nivel que tiene.

## **Resumen**

Este trabajo informa el proceso de construcción de un sistema de comunicación digital por vía de la red eléctrica de 220VAC con finalidad de remplazar los interruptores y enchufes actuales. El prototipo desarrollado consistió en un dispositivo que, a partir de una comunicación WiFi, recibe los comandos que luego serán transmitidos a una terminal capaz de habilitar o deshabilitar el paso de corriente. El trabajo define, y pone a prueba, el software y hardware básicos sobre el cual seguir construyendo la tecnología planteada. Se destaca que este trabajo parte del protocolo X10, el cual fue desarrollado para domótica.

Palabras clave: Comunicación digital, Red de 220VAC, Domótica, Conectividad.

## **Abstract**

This study informs about the process of building a digital communication system via the 220VAC electrical network aiming the replacement of current switches and plugs. The developed prototype consists of a device, which owing to the WiFi communication, receives commands and are later on transferred to a terminal capable of enabling or disabling the current flow. Furthermore, this study defines and tests software y hardware basics for future technological developments. It is worth to emphasize that this work is based on the X10 protocol, which was developed for home automation.

Keywords: digital communication, 220VAC electrical network, home automation, Connectivity.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>Agradecimientos . . . . .</b>	<b>V</b>
<b>Índice de cuadros . . . . .</b>	<b>IV</b>
<b>Índice de figuras . . . . .</b>	<b>V</b>
<b>Capítulo 1: Introducción . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1    Objetivo del trabajo . . . . .	1
1.2    Concepto . . . . .	1
<b>Capítulo 2: Desarrollo inicial . . . . .</b>	<b>4</b>
2.1    Hardware . . . . .	4
2.1.1    Primeros pasos . . . . .	4
2.1.2    Módulo Central . . . . .	6
2.1.3    Módulo periférico . . . . .	11
<b>Capítulo 3: Software . . . . .</b>	<b>16</b>
3.1    Comunicaciones . . . . .	16
3.2    Frame de datos . . . . .	17
3.2.1    Definición del frame de datos . . . . .	17
3.2.2    Transmisión del frame de datos . . . . .	18

3.3	Interpretación del mensaje . . . . .	21
3.4	Diagrama de la comunicación estándar . . . . .	22
3.5	Diagrama de la comunicación (Protocolo de pedido de numero de identificación) . . . . .	23
<b>Capítulo 4: Pruebas iniciales</b>	. . . . .	<b>26</b>
4.1	Construcción de los módulos . . . . .	26
4.2	Primera prueba de comunicación del TDA5051 . . . . .	28
4.3	Prueba de la señal de cruce por cero . . . . .	29
4.4	Prueba de la parte de potencia . . . . .	30
<b>Capítulo 5: Programación</b>	. . . . .	<b>32</b>
5.1	Programación del módulo central . . . . .	32
5.1.1	Servidor web . . . . .	32
5.2	Comunicación y control . . . . .	34
<b>Capítulo 6: Prototipo final y pruebas de funcionamiento</b>	. . . . .	<b>37</b>
6.1	Módulo central . . . . .	37
6.2	Módulo periférico y prueba del sistema . . . . .	38
6.3	Etapa final de las pruebas . . . . .	41
<b>Capítulo 7: Conclusiones</b>	. . . . .	<b>42</b>
7.1	Conclusión . . . . .	42
7.2	Modificaciones a futuro . . . . .	42
7.2.1	Implementación de protocolos de comunicación . . . . .	42

7.2.2	Diseño del servidor Web . . . . .	42
7.2.3	Aplicación de control de intensidad . . . . .	43
7.2.4	Capa de personalización y el poder de internet . . . . .	43
<b>Referencias</b>	.....	<b>45</b>
<b>Apéndice A:</b>	<b>Armónicos de fuente switching comercial</b> . . . . .	<b>47</b>
<b>Apéndice B:</b>	<b>Esquemáticos</b> . . . . .	<b>51</b>

## **ÍNDICE DE CUADROS**

2.1 Comparación rápida de modems existentes en el mercado. . . . .	5
--	---

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Esquema de funcionamiento deseado para el producto final. . . . .	2
1.2	Formato conceptual dentro al cual debe adaptarse el hardware. . . . .	3
2.1	Diagrama en bloques del sistema. . . . .	4
2.2	Medidas de las fichas de luz marca Kalop que se usan como patrón. . . . .	6
2.3	Diseño del impreso del módulo central. . . . .	8
2.4	Esquema del subsistema de control del modulo central. . . . .	9
2.5	Esquema del subsistema de comunicación del modulo central. . . . .	10
2.6	Esquema del subsistema de potencia del modulo central. . . . .	10
2.7	Esquema del subsistema de sensado de cruce por cero del modulo central. . .	11
2.8	Esquema general del sistema . . . . .	11
2.9	Diseño final del módulo central, layout listo para imprimir. . . . .	13
2.10	Diseño del impreso del módulo periférico. . . . .	14
2.11	Esquema del subsistema de control . . . . .	14
2.12	Esquema del subsistema fuente R-C . . . . .	15
2.13	Esquema general del módulo periférico . . . . .	15
3.1	Detalle del frame de datos. . . . .	17
3.2	Diagrama de flujo de la transmisión del mensaje. . . . .	18

3.3	Diagrama de flujo de la recepción del mensaje. . . . .	19
3.4	Diagrama de flujo del análisis del segundo y tercer frame. . . . .	20
3.5	Diagrama de flujo de la interrupción para manejo de tiempos de lectura. . .	20
3.6	Diagrama de flujo de interpretación del mensaje. . . . .	21
3.7	Diagrama de la comunicación estándar. . . . .	23
3.8	Diagrama del protocolo de número de identificación . . . . .	25
4.1	Imágenes de los pcb con algunos componentes soldados. . . . .	27
4.2	Presentación final de los dispositivos terminados . . . . .	27
4.3	Detalle de la señal del detector de cruce por cero. . . . .	29
4.4	Detalle del error de diseño cometido. En color verde puede observarse la pista que debió ser removida. . . . .	31
5.1	Página HTML guardada dentro del servidor web. Esta es la versión final para la fase de prototipado. . . . .	32
5.2	Imágenes del momento de programación de la comunicación simulada . .	34
5.3	Detalle de la comunicación. Puede verse en amarillo el mensaje enviado con su señal de inicio del mensaje y dos de sus frames. En azul puede verse el instante de comienzo de la función de lectura de datos y los momentos de lectura. . . . .	35
6.1	Estado del TDA5051 luego de la explosión. . . . .	39
A.1	En la imagen puede observarse la conexión de las puntas sobre la entrada de tensión de la fuente. . . . .	47
A.2	En la pantalla se observa la alimentación de la fuente en azul y en rojo la fft observada en la imagen A3(b). . . . .	48
A.3	Comparacion entre la medicion de la fft en dB y mV . . . . .	48
A.4	Resistencias utilizadas para cargar la fuente y caracterizarla en frecuencia. .	49

A.5 Espectro obtenido observado en diferentes escalas. . . . .	49
--	----

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Objetivo del trabajo

El objetivo principal de este trabajo, es el de resolver la necesidad de automatizar el hogar. En base a esto definimos como objetivo específico la posibilidad de controlar los toma corriente y las luminarias desde un dispositivo móvil.

Para la resolución de este problema se desarrollaron el hardware y software de tal forma que el único cambio necesario radique en reemplazar los tomacorrientes y las llaves de luz actuales. Cabe destacar que este cambio estará acompañado del aprendizaje de la nueva tecnología por parte del usuario, pero se tiene como meta que esto sea lo más intuitivo y fácil posible.

Con el objetivo planteado se comenzaron a explicar los pasos de diseño seguidos.

### 1.2 Concepto

Luego del periodo de análisis de la propuesta se concibió el concepto de establecer una comunicación digital a través de la red de 220VAC del estilo Master-Slave, con un Master con capacidad de conexión a través de internet. Este concepto es explicado de manera visual en la Fig.1.1, en donde se observa la posibilidad de reutilizar un sistema preexistente para lograr nuevas funcionalidades, además de cumplir con las restricciones de tamaño impuestas por las partes del sistema que buscamos reemplazar. A partir de se establece que el hardware que se genere debe tener el formato de la Fig.1.2.

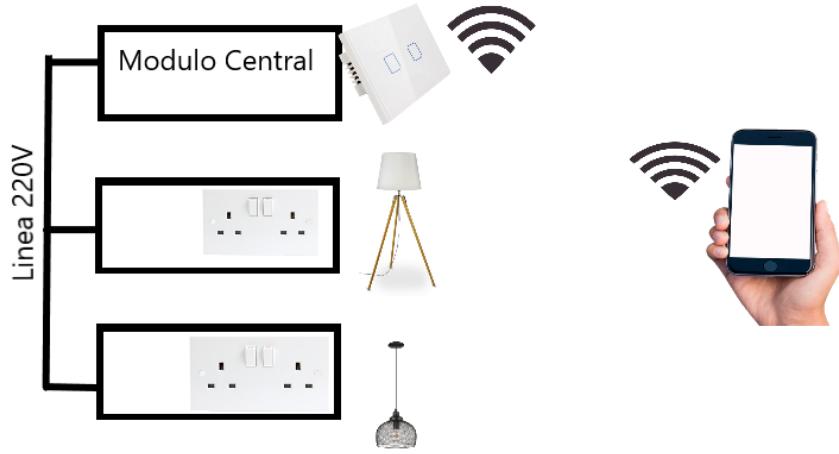


Figura 1.1: Esquema de funcionamiento deseado para el producto final.

En el proceso de estudio e investigación del tema se encontró que existen circuitos integrados (Llamados a partir de ahora IC) que realizan la función de Módem específicamente para este tipo de comunicaciones. Este descubrimiento llevó a encontrar que el tipo de enlace que intentábamos realizar se conoce como Comunicación por la Línea de Potencia (PLC, Power Line Communications) y es utilizado en ciertos ambientes. En el pasado el mismo se utilizó en domótica bajo un protocolo conocido como X10 y para aplicarlo se conecta el transceptor a la línea como un dispositivo más.



Figura 1.2: Formato conceptual dentro al cual debe adaptarse el hardware.

El hecho de que la idea ya tenga años de investigación nos proporcionó dos pautas a tener en cuenta, la primera es que este método funciona y en otros países ya se han diseñado sistemas exitosos con el mismo, la segunda es que la introducción de fuentes commutadas puede resultar una condición peligrosa para el funcionamiento de este sistema, ya que introduce armónicos que pueden interferir en la comunicación.

Teniendo las ventajas y desventajas presentes se procedió al diseño de los dispositivos necesarios con los recaudos correspondientes.

## CAPÍTULO 2

### DESARROLLO INICIAL

#### 2.1 Hardware

##### 2.1.1 Primeros pasos

Antes de comenzar se realizó el diagrama en bloques del sistema, el mismo puede observarse en la Fig.2.1.

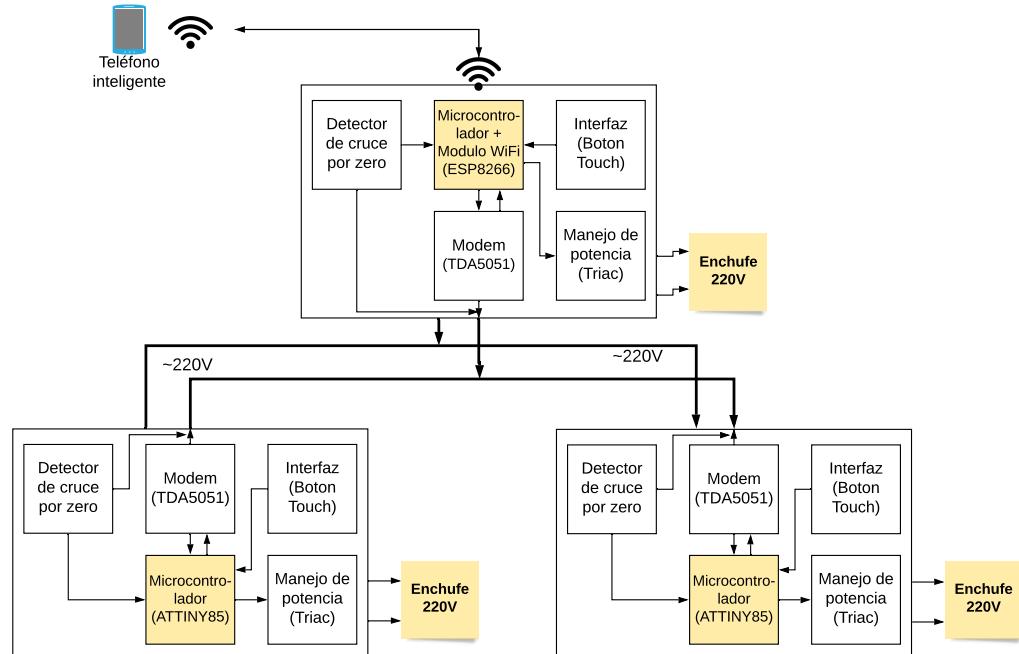


Figura 2.1: Diagrama en bloques del sistema.

Una vez definido el diagrama de bloques, el primer paso a realizar, fue el de seleccionar un circuito integrado que realiza la función de Módem para transmitir las señales por medio de la red eléctrica. Se realizó una búsqueda de los dispositivos disponibles en el mercado (Ver Fig.2.1).

Nombre	Modulacion	Tasa de bits	Vcc	Precio (U\$D)	Notas
TDA5051A	ASK	600/1200	5V	5.65	
CY8CPLC10-28	FSK	2400	5V	11.84	Comunicacion i2c
MAX2990	OFDM	100k			
ST7590	OFDM		8-18V	11.52	DSP integrado
AFE031	FSK,OFDM			2.3	Sin DSP
st8500			3.3V	9.78	Reballing necesario

Cuadro 2.1: Comparación rápida de modems existentes en el mercado.

El primer parámetro para definir el modem a utilizar radica en el precio. El segundo parámetro de análisis es la facilidad de uso e información disponible del mismo. Definidos estos criterios se seleccionó el TDA5051 al poseer un costo mucho menor que los dispositivos más caros, encontrarse disponible más información que el MAX2990, no necesitar procesamiento extra como el AFE031 y brindar una velocidad de transmisión de 600 a 1200 baudios. Se destaca que 600 baudios resultan suficientes para la aplicación deseada.

También se detallan las modulaciones de los distintos dispositivos a modo informativo.

Seleccionado el dispositivo, se procedió al estudio de sus características y su utilización. La documentación consultada fue la hoja de datos [1] y la nota de aplicación brindadas por NXP[2].

Antes de continuar con la descripción del diseño, resulta necesario aclarar que se necesitan dos equipos con configuraciones distintas para nuestra aplicación. El primero debe ser el módulo central, el cual necesita conexión Wi-Fi, botón táctil y la capacidad de habilitar o deshabilitar el paso de corriente. El segundo debe poseer la capacidad de comprender los comandos que se le transmitan y activar o desactivar el paso de corriente según indique el nodo central o el botón táctil que posea.

Por lo tanto, hemos definido dos diseños distintos que analizaremos por separado. Se destaca que ambos usarán el mismo circuito integrado para la comunicación a través de la red, pero también se tendrán distintos tamaños para los mismos en función de sus funcionalidades. El primero ocupará toda el área brindada por una caja de luz (Ver Fig.2.2) mientras que se espera que el segundo ocupe el sector de un separador o ficha (obsérvese

la imagen izquierda de la Fig.2.2). Existen dos puntos a aclarar. El primero radica en que se selecciona el frente de la figura en cuestión considerando que nuestro equipo sea comercialmente adaptable a esta marca para facilitar su colocación y permitir que sea decorado a gusto del usuario final. El segundo punto radica en que la profundidad máxima definida para el diseño es de 37 mm dado que la profundidad de las cajas de luz es de 43 mm.

Una vez definidas las funciones básicas se procedió a realizar el circuito esquemático de cada módulo, este se muestra en el apéndice B.

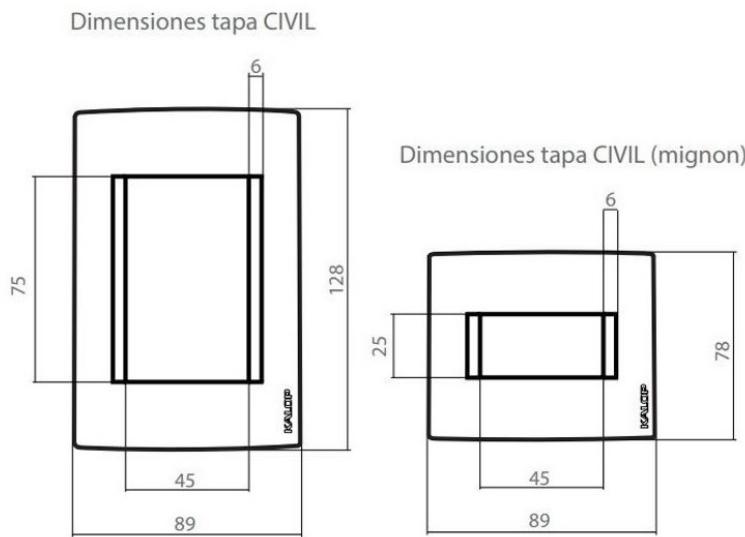


Figura 2.2: Medidas de las fichas de luz marca Kalop que se usan como patrón.

### 2.1.2 Módulo Central

Para comenzar se debía seleccionar un microcontrolador que se adapte a nuestras necesidades. Debe poseer capacidad de comunicación Wi-Fi. Debe poseer 3 entradas digitales (Interfaz táctil, Entrada de datos, y señal de cruce por cero) y 2 salidas digitales (Salida de datos, Control de salida).

El dispositivo que se encuentra en el mercado que mejor cumple las características es el ESP8266. El mismo posee una gran cantidad de ejemplos e información disponible, a la vez en que se encuentra disponible en una gran cantidad de formatos. En nuestra aplicación

elegimos el formato 12f ya que presenta facilidad de montaje superficial y tamaño reducido. La desventaja que posee es un modo de programación no directo, es decir, no posee una entrada USB, pero esto no resulta un impedimento.

En resumen, en este módulo se decidió utilizar el módulo ESP8266 12f[3] como microprocesador, el mismo posee incorporada la posibilidad de comunicación Wi-Fi. A partir del mismo se implementará un botón táctil, que actuará en conjunto con el análisis de las señales recibidas por medio de un servidor web, para la activación de un triac que maneja la potencia. Se estima que este conjunto de elementos (Considerando además al TDA5051) consuma 300mA en las peores condiciones. Este valor surge de la suma de los mayores consumos posibles de los elementos del sistema.

Definidos los componentes necesarios y el consumo de corriente se comenzó a pensar en la fuente de alimentación a utilizar. Esta fuente debe poseer entrada de 220VAC 50Hz y salida de 5VDC 300mA. De ser posible deseamos evitar el uso de transformador debido a su elevado costo y peso. Esto nos deja las opciones de utilizar fuentes conmutadas o fuentes Resistivo Capacitivas (R-C). Optamos por la primera debido a que no podemos extraer la potencia necesaria de una fuente R-C.

Por lo tanto, luego de analizar varias opciones se consideró que lo mejor es utilizar una fuente conmutada comercial de tamaño reducido. La búsqueda culminó en una fuente con la capacidad de brindar 600mA (Hlk-pm01[4]) debido a su disponibilidad y bajo costo.

En principio la selección de esta fuente trae consigo un problema a resolver, ya que se desconoce si la misma genera armónicos en la frecuencia de trabajo del integrado de comunicaciones, la misma nota de aplicación de NXP advierte que al seleccionarse la fuente debe verificarse este factor.

Si bien se poseían dudas respecto a la elección de la fuente se procedió al diseño esquemático del equipo y la primera versión del impreso. Se deja en el apéndice A toda la información correspondiente y las referencias de la misma.

Del diseño del impreso deben destacarse los siguientes puntos:

-Se tiene en consideración que el módulo Wi-Fi se encuentra arriba del Integrado TDA5051, por lo que se generó un plano de tierra del mayor tamaño posible para evitar interferencia.

-A la hora del armado deberán verificarse las soldaduras, ya que al ser superficiales las mismas tienen un mayor grado de dificultad.

-Los componentes serán comprados en el exterior ya que algunos de los mismos no se encuentran con facilidad en el mercado local. A la hora de seleccionar componentes se evaluó la facilidad de conseguirlos en el mercado local, pero siempre se optó por el componente más adecuado para la función a realizar.

-En el diseño se agregó un conector para permitir la programación del ESP8266 que no existirán en la versión final.

-El circuito no posee aislación galvánica.

-Se utiliza el circuito detector de cruce por cero definido en la nota de aplicación del TDA5051.

En la Fig.2.3 podemos observar el resultado final del diseño del mismo. El esquemático puede verse en el apéndice B.

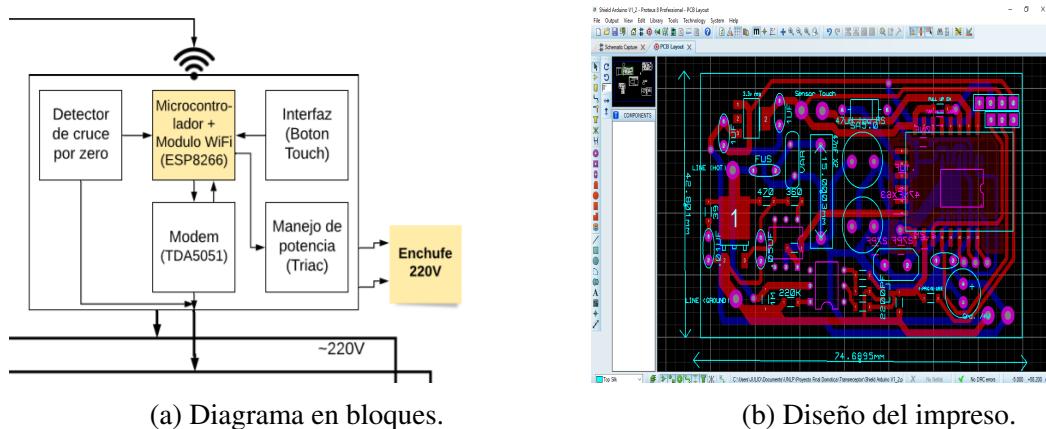


Figura 2.3: Diseño del impreso del módulo central.

El esquemático es la unión final de los distintos subsistemas. Entrando un poco en profundidad se puede observar el subsistema de control conformado por el ESP8266. Podemos

ver el esquemático del mismo en la Fig.2.4.

## Microprocesador de modulo central

Modulo con internet (ESP8266-12E)

Trabaja con 3.3V de alimentación

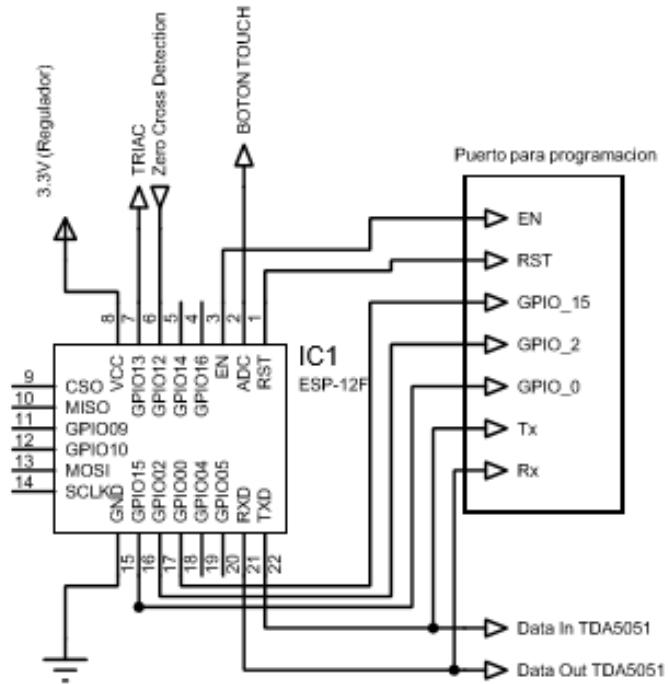


Figura 2.4: Esquema del subsistema de control del modulo central.

El subsistema de comunicaciones a través de la linea de 220VAC dado por el modem seleccionado (TDA5051) puede verse en la Fig.2.5.

Tx/Rx TDA5051  
Reference: TDA5051 Datasheet (Page 15)

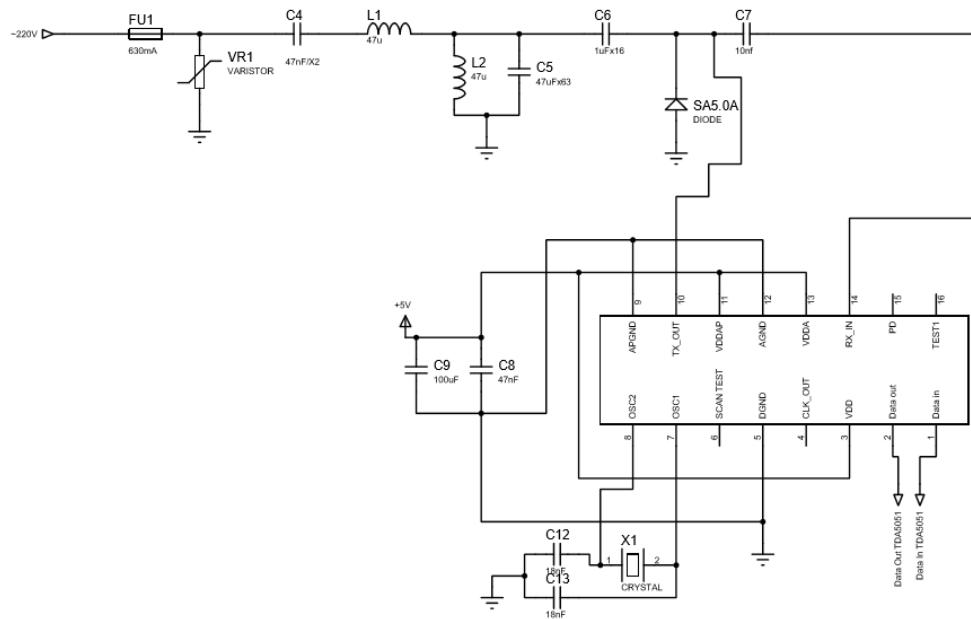


Figura 2.5: Esquema del subsistema de comunicación del modulo central.

El subsistema de potencia, es decir, la utilización de triac para la habilitación del paso de corriente. El esquemático puede verse en la Fig.2.6 y el mismo respeta las recomendaciones de la hoja de datos del optoaislador seleccionado (MOC3021).

### Potencia

Referencia: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MOC3023M-D.PDF>  
Uso típico segun la hoja de datos

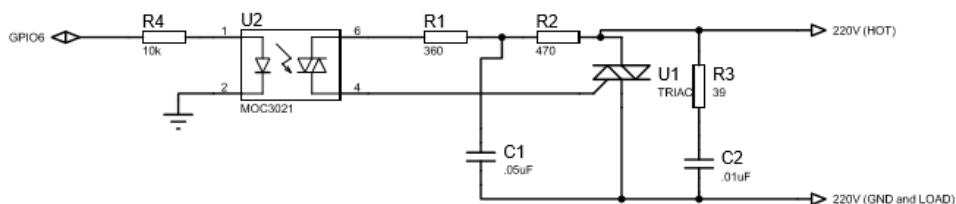


Figura 2.6: Esquema del subsistema de potencia del modulo central.

El subsistema de censado de cruce por cero puede verse en la Fig.2.7 y su diseño se corresponde con el explicitado en la nota de aplicación AN10903.

Zero crossing detection  
Referencia: AN10903 app note circuit use

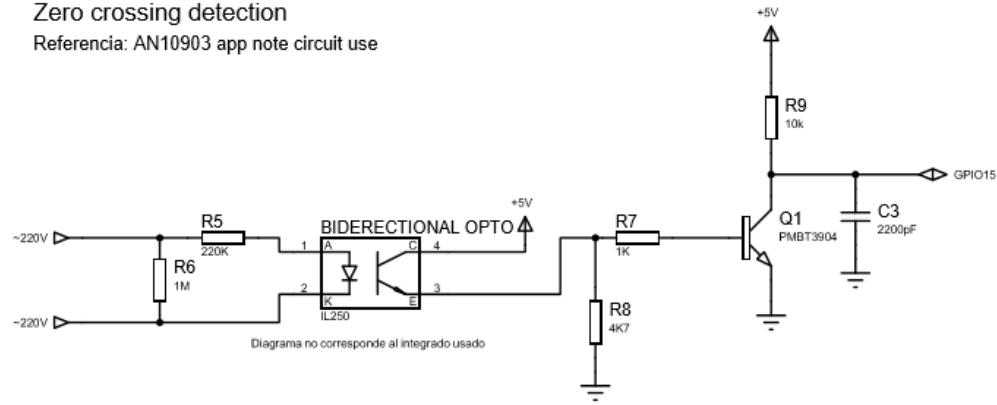


Figura 2.7: Esquema del subsistema de sensado de cruce por cero del modulo central.

Observamos por ultimo el esquematico de la union de todos los subsistemas en la Fig.2.8. Se recuerda que todos los esquematicos tambien se encuentran en el apendice B.

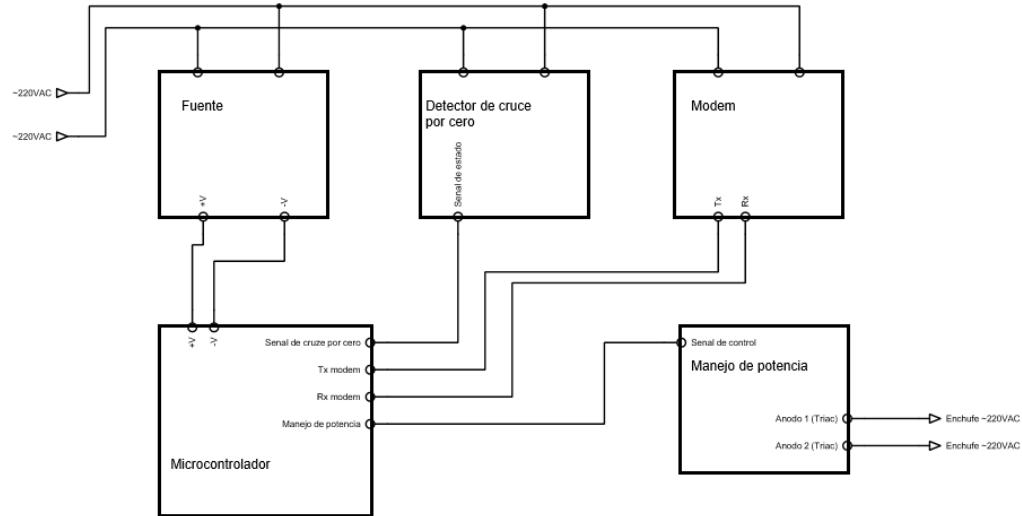


Figura 2.8: Esquema general del sistema

### 2.1.3 Módulo periférico

El módulo periférico debe poseer las mismas características que el módulo central exceptuando la conexión WiFi y manejara un programa con menor cantidad de instrucciones. Esto último es debido a que se comportara como esclavo en el sistema, teniendo menos

control de la totalidad del mismo. Recordamos entonces, el módulo debe poseer 3 entradas digitales (Interfaz táctil, Entrada de datos, y señal de cruce por cero) y 2 salidas digitales (Salida de datos, Control de salida).

Dada la cantidad de salidas y que se considera que el programa no requiriera una gran cantidad de memoria se buscó un dispositivo de 8 pines de bajo costo. En particular se optó por la familia de microprocesadores de Atmel por su capacidad de ser programados mediante Arduino. En este caso se optó por el attiny13[5] debido a cumplir los requisitos y ser el dispositivo con menor memoria de su gama.

Exceptuando la fuente, para el resto de los subsistemas se copió lo realizado en el módulo central. Por lo tanto, contamos con un triac para el manejo de potencia, un attiny13 como microprocesador y un TDA5051 como modem. A partir de estos elementos se estima un consumo máximo de corriente de 100mA.

Debido a que nuestro máximo consumo esperado es bajo, en este módulo se opta por utilizar una fuente R-C. En particular, se pretende usar una fuente sin transformador como la especificada en la página 36 de la nota de aplicación AN10903[2]. Se eligió este diseño en particular debido a que es el brindado por el fabricante del modem TDA5051 para bajos consumos.

Dadas estas especificaciones y el espacio disponible se concibió el impreso en dos partes unidas por una tira de postes. En el impreso superior se encontrarán la parte de potencia (fuente y triac), en la parte inferior se encontrará todo el sistema de comunicaciones y control. Es importante destacar que parte de la fuente queda excluida del impreso debido a su tamaño y se plantea la ubicación de estos componentes de tal manera que el espacio disponible sea suficiente. Puede verse la administración del espacio planteada en la Fig.2.9.

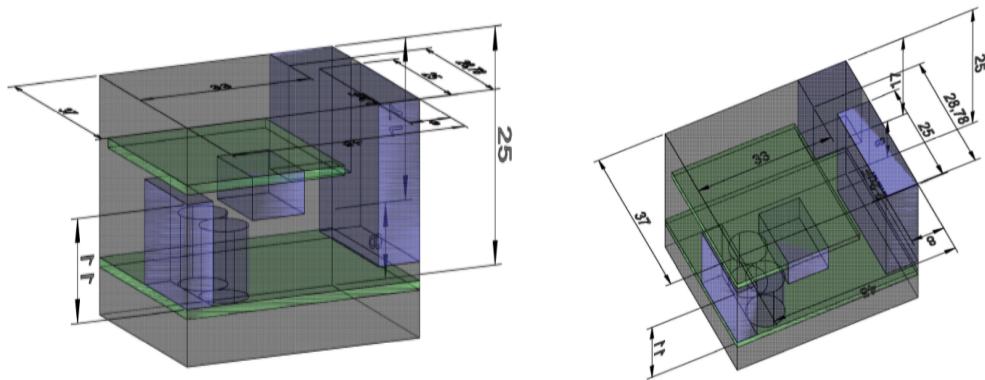
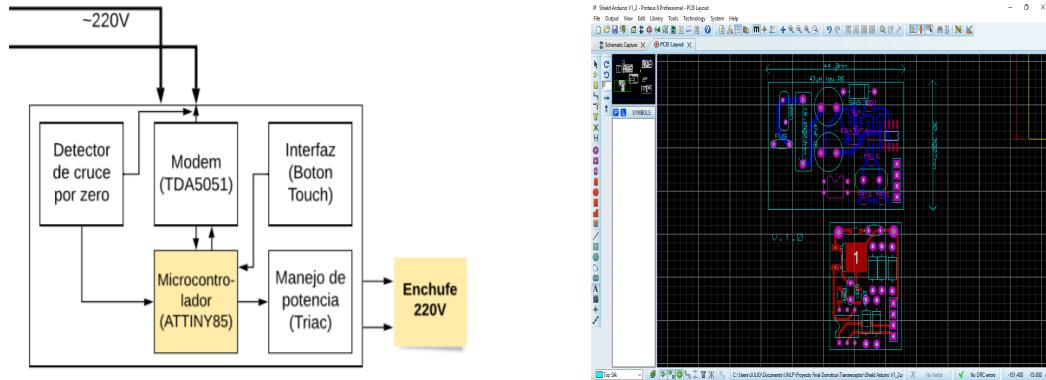


Figura 2.9: Diseño final del módulo central, layout listo para imprimir.

Definido el tamaño máximo disponible del impreso se procedió al diseño en proteus del circuito. Respecto al espacio se decidió que, al ser un prototipo, no es necesario respetar la altura para permitir puntos de medición e instalar un zócalo para el microcontrolador. Este último detalle es importante ya que este zócalo cumple una doble función, primero permite cambiar el circuito integrado ante cambios de criterio o fallas en el mismo y segundo, permite observar todas las entradas y probar todas las salidas antes de programar para trabajar sobre una base sólida. Se consideró que esto último es de vital importancia, para poder comenzar a trabajar en el sistema completo una vez que se conozca el funcionamiento de sus partes.

Puede verse el resultado final obtenido en la Fig.2.10. Se debe destacar que en este momento se debe utilizar el pin de reset como tal, ya que no se avanzará en esta primera etapa con un botón táctil. Las pistas para el botón están diagramadas y solo debería configurarse el microcontrolador para utilizar el pin de reset como entrada. Este será el último paso, ya que al realizar esta acción no podrá volver a programarse el microprocesador.



(a) Diagrama en bloques.

(b) Diseño del impreso.

Figura 2.10: Diseño del impreso del módulo periférico.

Entrando en detalle podemos ver en la Fig.2.11 el esquemático del subsistema de control.

### Microprocesador de modulo periferico

Microprocesador utilizado (ATTINY13)

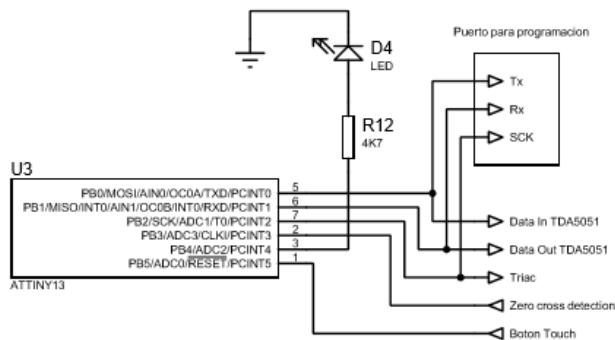


Figura 2.11: Esquema del subsistema de control

Siendo la mayoría de los subsistemas idénticos a los utilizados en el módulo central no se presentan nuevamente los esquemáticos. Sí se muestra en la Fig.2.12 el esquemático de la fuente R-C utilizada.

### Fuente modulo periferico

Ver pag. 35 de nota de aplicacion AN10903 de NXP

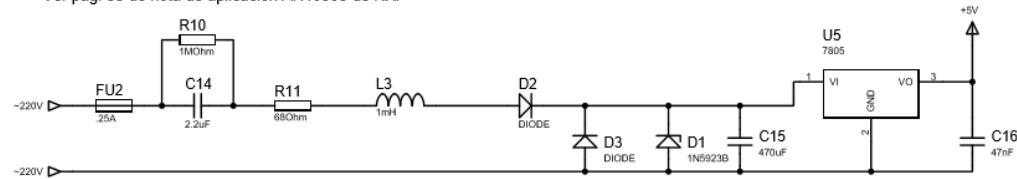


Figura 2.12: Esquema del subsistema fuente R-C

Por último, se muestra el esquemático general del módulo periférico (Fig.2.13). Se menciona que todos los esquemáticos también se encuentran en el apéndice B para facilidad del lector.

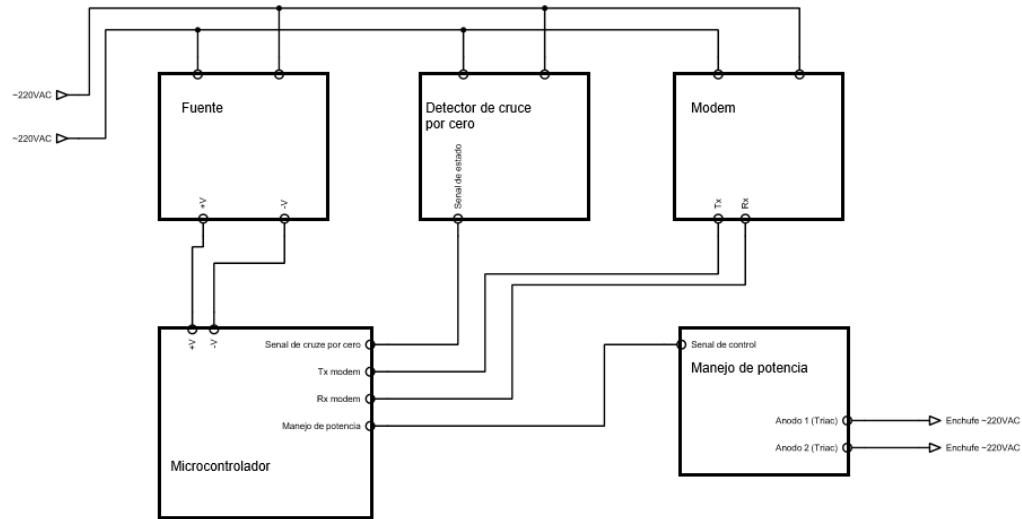


Figura 2.13: Esquema general del módulo periférico

## CAPÍTULO 3

### SOFTWARE

#### 3.1 Comunicaciones

Se considera que el aspecto más complicado del proyecto en cuanto a software, es generar una comunicación confiable entre los dispositivos para poder actuar según la misma. Antes de comenzar a enfrentar este problema se parte de la base de que se desea usar los códigos proporcionados en el protocolo x10[6], esto sobre todo para tener un punto de partida.

El protocolo x10 es un estandar utilizado para la transimision de datos via la linea de 220VAC. El mismo define la capa de red del modelo OSI, estableciendo los codigos de comunicacion. Si bien la misma se encuentra en desuso, se pretenden utilizar los codigos alli mencionados como punto de partida.

Analizando este protocolo nos encontramos con el detalle de que el mismo posee una asignación de nombre de dispositivo por medio de switchs mecánicos. Frente a esto se optó por cambiar ese metodo y desarrollar un protocolo en la comunicación para que el módulo central pueda nombrar a los dispositivos a su gusto.

También se encontro que este protocolo no tiene provisto el envío de un Acknowlege ni checksum, por lo tanto, buscaremos la forma de agregarlo en nuestro proyecto. En otras palabras, buscaremos agregar una capa de transporte a nuestro sistema.

El primer paso para lograr realizar la comunicación fue definir el frame de datos.

## 3.2 Frame de datos

### 3.2.1 Definición del frame de datos

Partiendo de la nota de aplicación UM10495 NXP sección 7.1[7] y considerando los cambios pertinentes para el proyecto en cuestión definimos el data frame de la forma detallada en la Fig.3.1.

Esta definición de frame surge de que la comunicación necesita tres frames de datos de un byte. Primero el código de hogar que define la zona en la que se encuentra el dispositivo. Siguiendo el protocolo x10 se pueden definir 16 zonas. Luego se necesita el código de la unidad, que lo identifica dentro de la zona y por último el código de control. El código de control define la acción a realizar o la información a transmitir.

El interior de cada frame se definió según la nota de aplicación mencionada previamente (UM10495) para volver la comunicación más confiable.

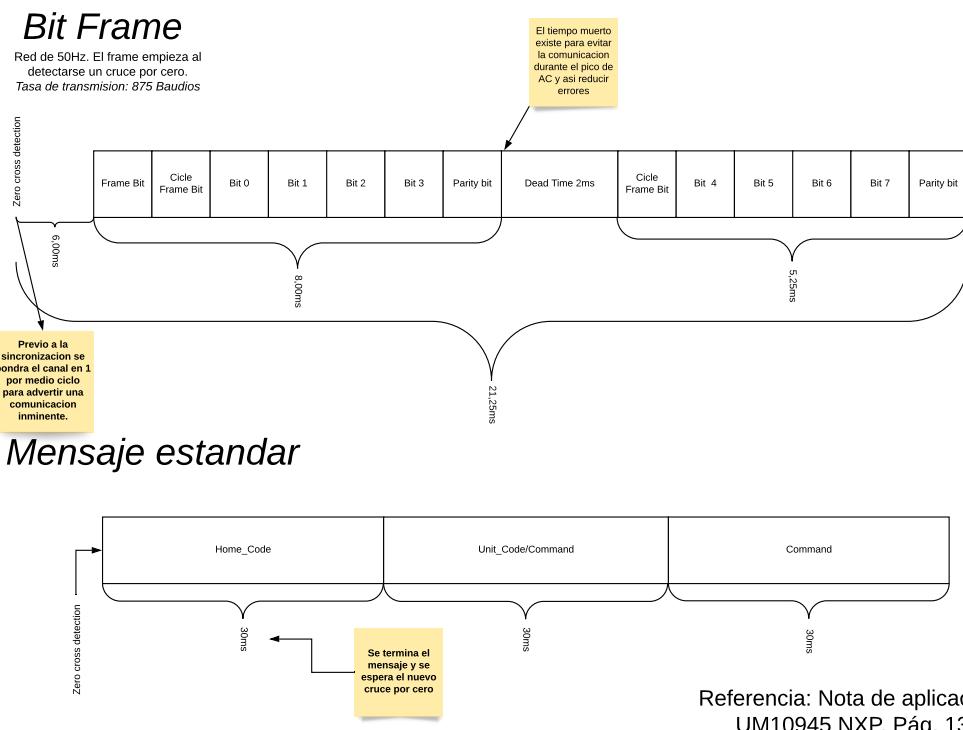


Figura 3.1: Detalle del frame de datos.

Es sumamente importante aclarar que se utiliza una señal de comienzo de transmisión

que corresponde a tener el canal en un 1 lógico durante medio ciclo de la tensión de línea.

Si el receptor detecta este patrón se prepara para escuchar al medio.

### 3.2.2 Transmisión del frame de datos

Para la transmisión del frame de datos se considera el diagrama de flujo de la Fig.3.2.

En el mismo se establecen los pasos a seguir para la generación del frame de datos.

La transmisión del mensaje comienza dando aviso de que se va a realizar una transmisión, esto se logra manteniendo el canal en alto un cierto periodo de tiempo. Luego se comienza a transmitir el frame arriba definido. Una vez terminado el frame se comienza la transmisión del próximo en el siguiente cruce por cero. Esto se realiza para la sincronización de los receptores con los emisores.

Diagrama de flujo emision de mensajes

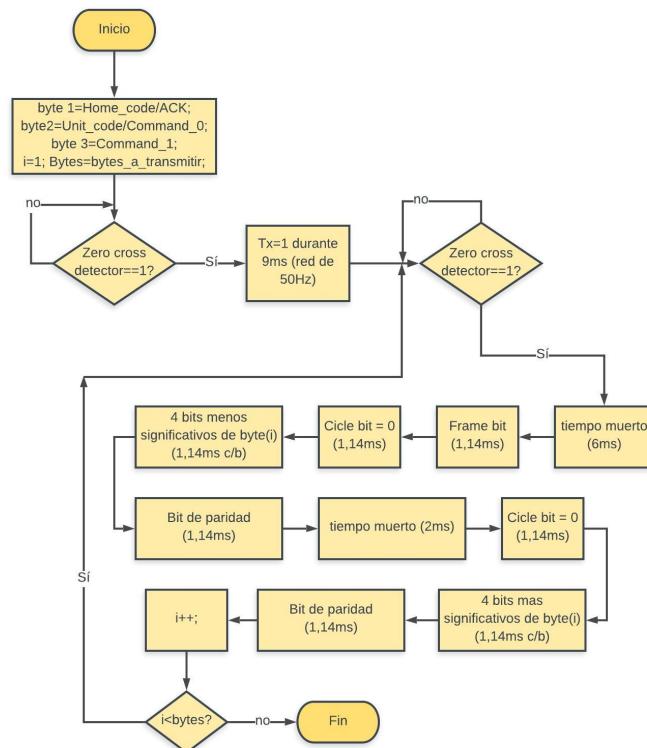


Figura 3.2: Diagrama de flujo de la transmisión del mensaje.

En cuanto a la recepción del mensaje se considera el diagrama que se encuentra en la Fig.3.3. Aquí se establecen los principios que debe seguir el código cuando funcione en condición de receptor del frame de datos.

La recepción de mensajes comienza analizando el canal para averiguar si el host está por iniciar el envío de un frame de datos. En caso de encontrar la señal de inicio de transmisión comenzaremos a escuchar el canal según los tiempos de frame previamente definidos. Este proceso se repite nuevamente tres veces, para recibir los tres códigos necesarios.

**Diagrama de flujo del receptor**

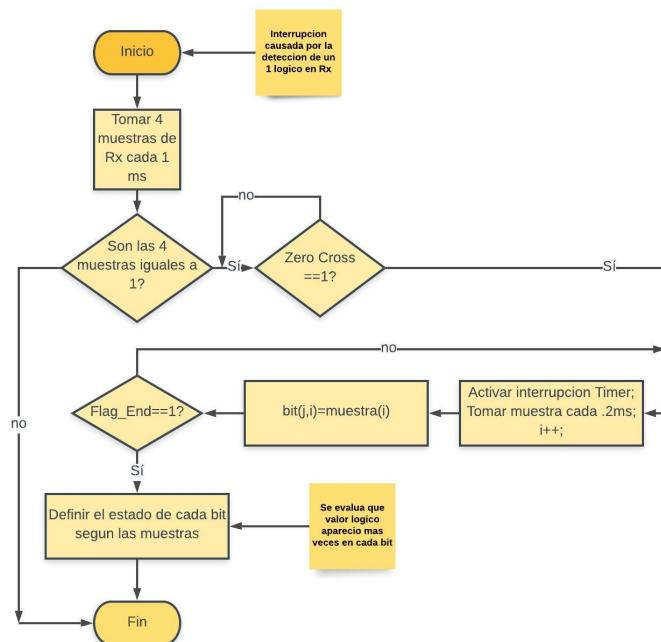


Figura 3.3: Diagrama de flujo de la recepción del mensaje.

Una vez iniciada la comunicación no daremos aviso de una nueva comunicación cuando se espera un mensaje de dos o tres frames. En el caso de esperar más mensajes inmediatamente después del primer frame, se procede a esperar la próxima señal de cruce por cero para comenzar la lectura de datos. Esto se detalla en la Fig.3.4. Se Destaca que la definición del estado del bit según las muestras es la misma utilizada en el diagrama anterior.

## Análisis de segundo / tercer byte

(Se define por soft a partir del primer byte)

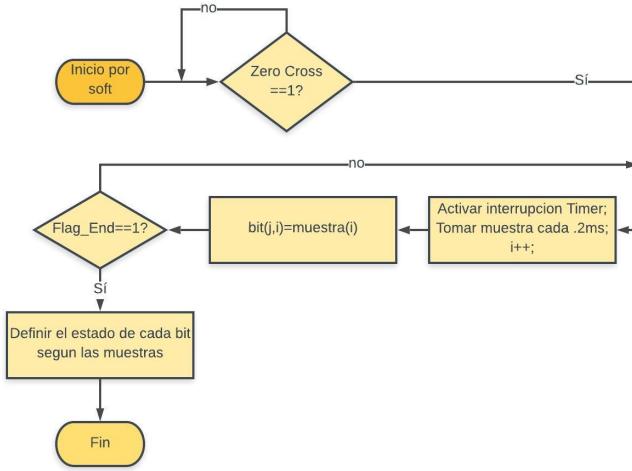


Figura 3.4: Diagrama de flujo del análisis del segundo y tercer frame.

También se detalla cómo se espera implementar la interrupción para el manejo de los tiempos de lectura. En este caso  $j==8$  dado que se toma una muestra por bit, en caso de ser más muestras por bit este valor cambiará en un múltiplo de 8 (Ver Fig.3.5).

### Detalle interrupcion

(timer Interrupt)

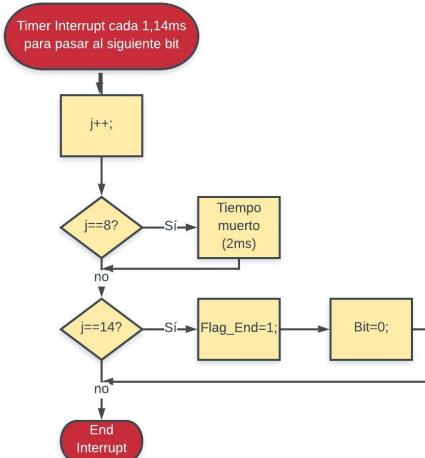


Figura 3.5: Diagrama de flujo de la interrupción para manejo de tiempos de lectura.

### 3.3 Interpretación del mensaje

Una vez obtenido el mensaje se debe interpretar su contenido, para esto se comienza analizando si el código de zona (House\_Code) se corresponde con la unidad del esclavo que está escuchando. En caso de cumplirse esta condición se analizan los dos primeros bits del 3 byte. Estos dos bits definen si el mensaje es un mensaje de broadcast, es decir, un comando que todos los módulos de la zona deben realizar. En caso de no ser un mensaje de broadcast, se analiza el segundo bit para analizar qué unidad debe ejecutar el comando enviado, ya que en este se transmite el código de la unidad que debe actuar.

El diagrama de flujo sobre el análisis de la información recibida se encuentra en la Fig.3.6. El mismo solo corresponde a la interpretación de códigos que se corresponden con el protocolo x10. El análisis de Acknowlege, checksum y otros especificados para el caso frame bit igual a 0, no se encuentran contemplados en el diagrama presentado y quedarán a definirse una vez que se haya logrado aplicar lo aquí especificado.

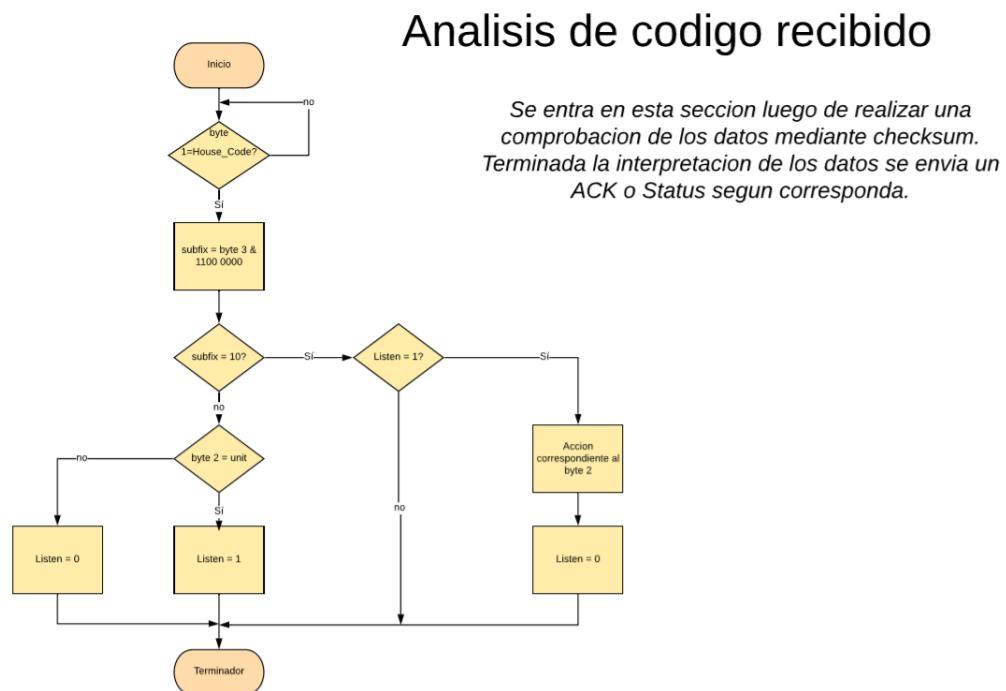


Figura 3.6: Diagrama de flujo de interpretación del mensaje.

### **3.4 Diagrama de la comunicación estándar**

Definido todo el proceso de envío, recepción e interpretación del mensaje procedemos a definir el flujo de mensajes esperado. Esto es importante no solo para programar un sistema funcional, sino que permite que definamos sistemas para la confiabilidad de la transmisión de paquetes. Un ejemplo de esto es la implementación de acknowledges (Confirmaciones de recepción del mensaje) para que en caso de no recibirse la misma, se repita la transmisión.

Entonces, se procede a plantear el flujo de información que esperamos y que programaremos. El caso propuesto se presenta debajo (Fig.3.7). En el diagrama se detalla que cada mensaje enviado esperara un ackowlege del receptor y en caso de no recibirlo se procedera al reenvio del mensaje luego de un tiempo elegido aleatoriamente dentro de un intervalo definido (Time Out). A su vez se detalla que el receptor podria responder con un mensaje que indique su estado actual y ese mensaje ademas tendra el valor de un ackowlege para el modulo central.

# Envio de mensajes

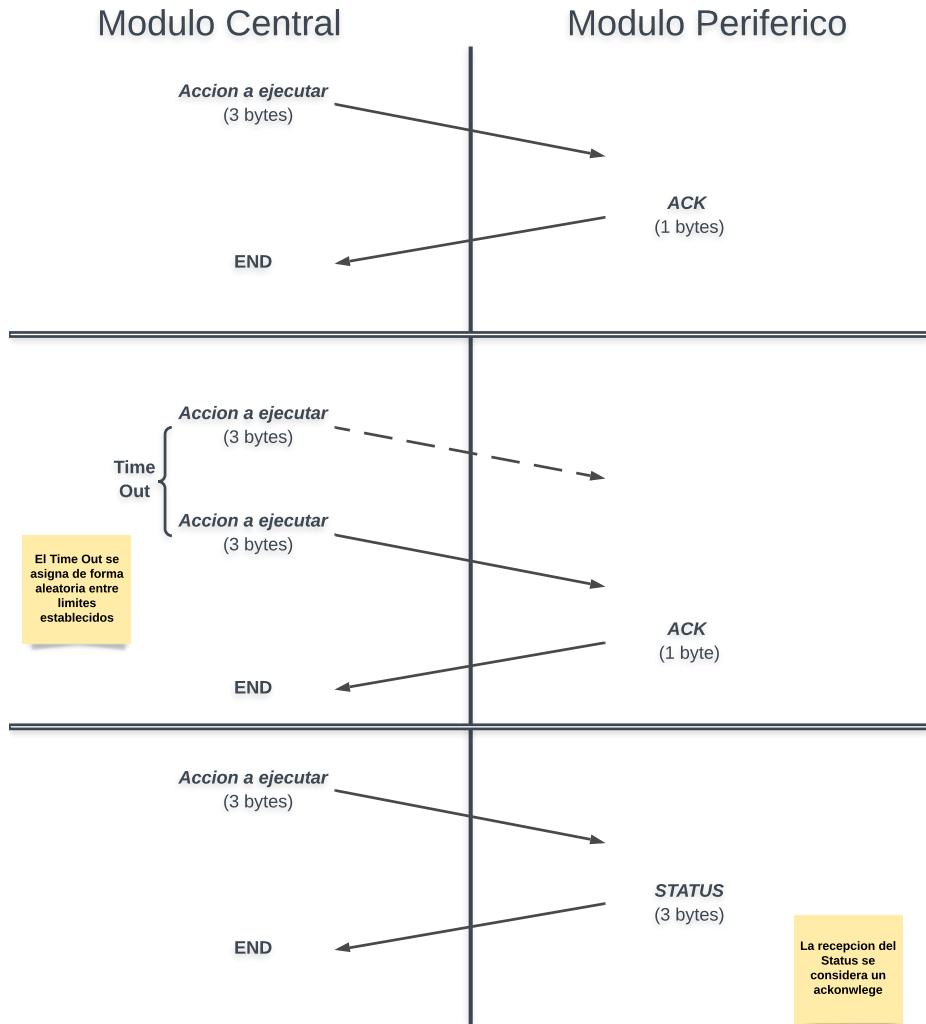


Figura 3.7: Diagrama de la comunicación estándar.

## 3.5 Diagrama de la comunicación (Protocolo de pedido de numero de identificación)

Existe un caso especial que se debe considerar, este es cuando un nuevo dispositivo se suma a la red. En este escenario el dispositivo no tiene un nombre asignado, por lo que no puede establecer una comunicación tal y como la esperamos. Cuando esto suceda se aplicara el protocolo de pedido de número de identificación.

Una vez que el dispositivo se encuentre conectado, para comenzar el protocolo, el usu-

rio deberá definir el nombre de su nuevo dispositivo en la aplicación y el grupo al cual pertenece. Se recuerda que el protocolo x10 dispone los dispositivos según un código de casa (Home\_Code) que permite al usuario dividir áreas. Para dar un ejemplo de esto, el usuario puede poseer todos los dispositivos de la cocina en un grupo y todos los del comedor en otro.

Establecido el nombre del nuevo dispositivo, el módulo central identificará ese código (Nombre de dispositivo) como utilizado. En el caso de una nueva petición se brindara al dispositivo el siguiente código disponible del sector definido. Para facilitar la interfaz de usuario el código estará asociado al nombre ficticio que el usuario haya establecido. Para terminar la configuración del módulo el usuario deberá mantener apretado el interruptor del módulo periférico unos segundos y allí comenzará el protocolo de pedido de numero de identificacion.

El mismo consiste en un frame de peticion de la informacion y una vez enviado se espera la respuesta. En caso de no recibirse una respuesta en un tiempo dado (Time Out) se vuelve a realizar el pedido luego de un intervalo de algunos milisegundos definido de manera aleatoria. Recibida la informacion pedida se envia un mensaje informando la correcta recepcion de los datos (Ackowlege) y allí termina el protocolo. Se destaca que el concepto de nuevo envio de mensaje en caso de no recibir respuesta se aplica a todo el protocolo. Puede verse el diagrama de acción en la Fig.3.8.

## Protocolo de pedido de numero de identificacion

Modulo Central

Modulo Periferico

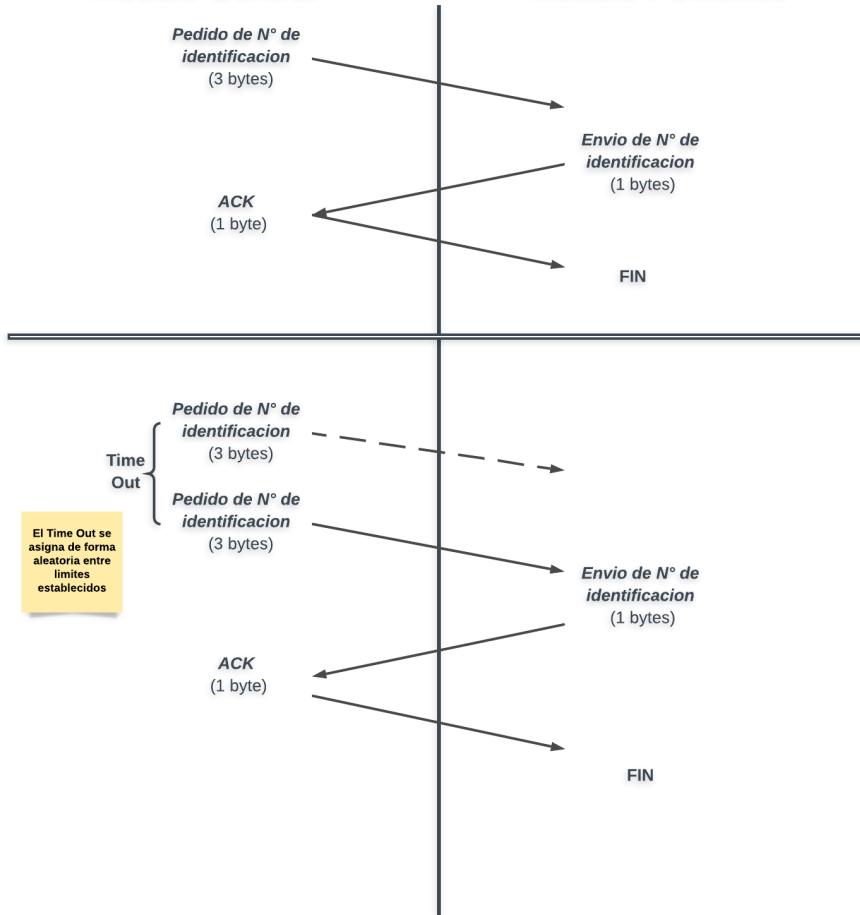


Figura 3.8: Diagrama del protocolo de número de identificación

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS INICIALES

#### **4.1 Construcción de los módulos**

Una vez que se definió la tecnología a utilizar, se realizó la compra de componentes en el exterior para el armado del sistema. Los mismos fueron comprados a través de internet a la empresa Mouser[8]. Afortunadamente los mismos llegaron en tiempo y forma. Con los componentes en nuestro poder se decidió realizar los prototipos iniciales con los métodos tradicionales, para verificar el correcto funcionamiento del sistema y realizar los ajustes necesarios para la versión definitiva.

Para la fabricación de los mismos se utilizó el método tradicional y se logró un buen resultado sin grandes dificultades. El trabajo debió realizarse dos veces ya que en la primera tanda se cometió el error de no espejar la capa superior, por lo que los componentes no se ubicaban debidamente. La segunda tanda se fabricó correctamente y fue la que se utilizó durante las pruebas, hasta que se produjo un incidente en la placa de comunicaciones y control del módulo periférico, que requirió su reposición.

Se considera importante mencionar que la fabricación, así como las pruebas y la preparación del equipo se realizó en las oficinas de Infotek Ingeniería. Aquí se contó con todo el equipo necesario, como así también una amplia gama de componentes electrónicos que se hallaban a disposición.

En la Fig.4.1 puede observarse el comienzo del proceso de soldado luego de finalizado el proceso de fabricación del circuito impreso.

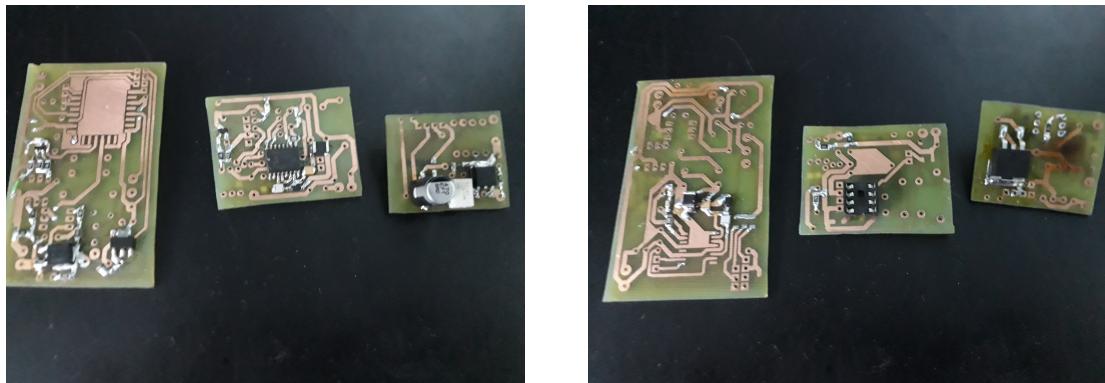


Figura 4.1: Imágenes de los pcb con algunos componentes soldados.

En el proceso de soldado de los componentes se comenzó por los de montaje superficial y luego se procedió con los de agujero pasante. Se utilizó una gran cantidad de flux y se solicitó ayuda a uno de los directores para soldar aquellos componentes superficiales que poseen pista debajo del circuito integrado. Algunos ejemplos de los dispositivos integrados mencionados son el regulador 7805 y los triacs. Ambos pueden observarse en la imagen anterior.

El único componente que no fue soldado antes de comenzar las pruebas fue el microprocesador del módulo central (ESP8266) ya que se deseaba probar que todo funcionara correctamente previo a conectarlo.

La presentación final de esta etapa puede observarse en la Fig.4.2.



Figura 4.2: Presentación final de los dispositivos terminados

## 4.2 Primera prueba de comunicación del TDA5051

La primer prueba que se realizó fue el funcionamiento del componente clave de este trabajo, el modem de señales para la linea de 220V (TDA5051). Para realizar esta prueba se dispuso un variac a la entrada de red de los dispositivos. Las entradas de red de ambos dispositivos se unieron y para la alimentación de los mismos se utilizó una fuente de laboratorio con el límite de corriente establecido en 300mA (La misma fuente para ambos módulos).

También se dispuso un botón en uno de los módulos de tal manera de poder cambiar definir el envío de un 0 o un 1 lógico. Del otro lado se dispuso otro cable en el pin Data Out del circuito integrado que funcionará como receptor para poder dejar el osciloscopio conectado. El pin Data In del circuito receptor se puso a +5VDC para que el mismo trabajase en modo receptor. Es necesario destacar que con esta configuración se compartía la tierra del circuito por lo que era posible medir con el osciloscopio ambas partes sin cambiar la referencia del mismo.

La prueba procedió del siguiente modo, el primer paso fue verificar el funcionamiento del filtro de entrada. Para esto se procedió a elevar lentamente la tensión proporcionada por el variac mientras con el osciloscopio se observaba la salida del filtro que debía rechazar los 50 Hz unos 50dB. Este ensayo se realizó con la fuente de 5VDC apagada para evitar cualquier problema ajeno al filtro. Dado que ambos módulos cumplieron lo esperado en esta etapa, se procedió a la siguiente.

La segunda etapa consistió en habilitar la alimentación de los dispositivos, con el osciloscopio posicionado en la salida de información del módulo que funciona como receptor y presionar el botón dispuesto en el módulo emisor. Esperábamos ver un cambio de la salida de 5VDC a GND. Ambos dispositivos se comportaron tal como se esperaba por lo que se dio por comprobado el funcionamiento base de la comunicación.

No es menor que se haya podido aprovechar el entorno logrado para analizar la señal

que nuestro modem generaba. Se pudo observar que el mismo generaba una señal de 125 KHz tal como esperábamos con el cristal utilizado. Se recuerda que la frecuencia central utilizada para la modulación FSK de este dispositivo depende del cristal acoplado.

### 4.3 Prueba de la señal de cruce por cero

El análisis del funcionamiento de los dispositivos continuó por la señal de cruce por cero de ambos. Esperábamos ver un pulso cuadrado similar al que podemos observar en la parte inferior de la Fig.4.3. Esta señal fue especificada por la empresa NXP en su nota de uso del TDA5051[7]. En la imagen izquierda se puede observar el resultado obtenido y realizar la comparación. Debemos mencionar que nos encontramos satisfechos con el resultado obtenido.



Figura 4.3: Detalle de la señal del detector de cruce por cero.

Hay puntos a destacar sobre el resultado obtenido. El primer punto es que en el módulo central la amplitud de la señal es de 3v3DC ya que el microcontrolador utiliza esta tensión de alimentación, por lo que se seleccionó la resistencia necesaria para que el tiempo del pulso sea similar al del módulo periférico que trabaja en 5VDC. Esta selección se realizó utilizando la resistencia que me proporcionará la misma corriente de carga del capacitor.

El segundo punto en cuestión radica en que al comenzar las pruebas el módulo periférico no emitía señal alguna, observado el problema se encontró que el transistor utilizado

había quedado diagramado al revés, por lo que se procedió a soldarlo espejado a la posición especificada y el problema fue solucionado.

#### 4.4 Prueba de la parte de potencia

La etapa de potencia consta de dos secciones, las fuentes y la etapa de salida. Comenzamos analizando la segunda.

La etapa de potencia fue analizada conectando el variac como alimentación del circuito y una lámpara como carga del mismo. Para el disparo del triac se procedería de manera manual a conectar la entrada a 5VDC en el caso del módulo central o 3,3VDC en el caso del periférico. Al principio no se obtuvo el resultado esperado.

Para solucionar el problema se comenzó analizando si existía algún cortocircuito o pista cortada. Sin haber encontrado un problema de ese estilo se procedió a comprobar la existencia de la tensión de 220VAC y el correcto funcionamiento de la lámpara. No siendo ese el problema se procedió a analizar el estado de la resistencia limitadora de corriente del circuito de disparo. Allí se notó que el valor de la misma era demasiado elevado. Se menciona que era muy elevado dado que la corriente se encontraba limitada por debajo de la corriente mínima de disparo del optoacoplador. Este problema provino de un error de diseño y no de un problema en la resistencia.

Luego de resolver el hecho de que la resistencia de entrada al optoacoplador estaba mal seleccionada. Se procedió al cambio de la resistencia y con el variac en una tensión de 200VAC se logró habilitar el paso de corriente a discreción sin mayores inconvenientes.

Las fuentes fueron probadas aparte para evitar dañar los componentes más sensibles. El detalle del análisis de la fuente switching se puede encontrar en el apéndice A ya que se realizó el detalle de su comportamiento en frecuencia para conocer si afectaría la comunicación.

En el caso de la fuente R-C el primer análisis se realizó sin carga y aumentando la tensión de entrada lentamente por medio del Variac. En el primer intento saltó el fusible

del variac y se arruinaron los diodos utilizados para el puente de diodos. Este inconveniente mostró una falla en el diseño del impreso ya que se encontraban cortocircuitados parte de los diodos en cuestión. Puede observarse el causante de este accidente en color verde en la Fig.4.4.

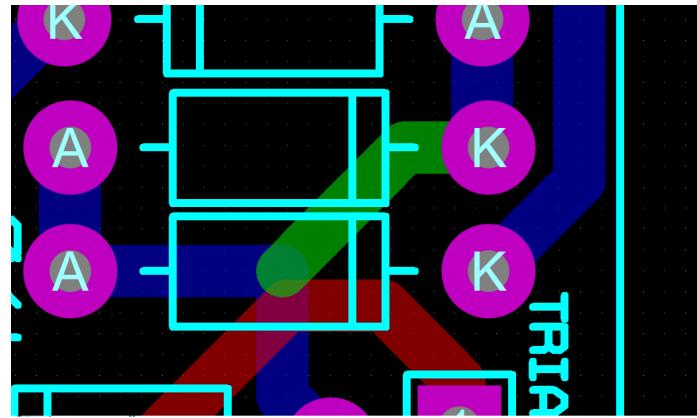


Figura 4.4: Detalle del error de diseño cometido. En color verde puede observarse la pista que debió ser removida.

Removida la pista en cuestión y reemplazados los diodos dañados la misma proporcionó una tensión de 5VDC sin ripple alguno superando el ensayo propuesto hasta ese punto. Dado que no conocíamos el nivel de carga exigido por el circuito y confiando en la capacidad de la misma, se optó por dar por aprobado su funcionamiento luego de esta prueba.

# CAPÍTULO 5

## PROGRAMACIÓN

### 5.1 Programación del módulo central

#### 5.1.1 Servidor web

Comprobados los sistemas básicos necesarios para lograr el funcionamiento de la comunicación propuesta, se procedió a realizar la programación. El primer paso fue establecer un servidor web en el módulo ESP8266. Este servidor sería el inicio de nuestra señal de comunicación por lo que resultaba prudente iniciar de este modo.

Mediante la búsqueda de información sobre el asunto se llegó a un código base[9] que configuraba el módulo como Access Point (AP) con un servidor web integrado con dos botones (Prender [ON] y apagar [OFF]), este fue el punto de partida del programa final. La página html utilizada puede verse en la Fig.5.1.

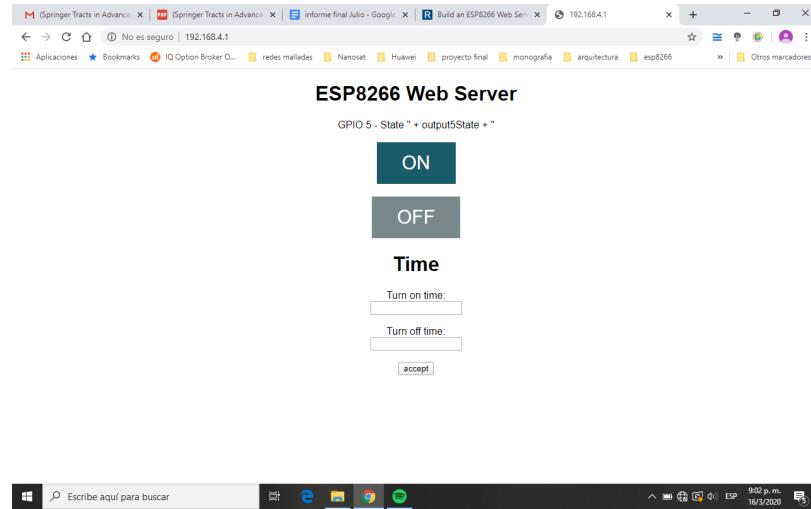


Figura 5.1: Página HTML guardada dentro del servidor web. Esta es la versión final para la fase de prototipado.

Partiendo de este programa se procedió a configurar la interrupción del timer para poder definir los tiempos del frame de datos. En este caso el envío de datos se sitúa dentro de la

interrupción debido a que en el ESP8266 una espera en la función principal (Main) produce un reset del dispositivo asociado al watchdog que no ocurre en otras funciones. Se prefirió implementar la trasmisión de esta manera, para garantizar que ante cualquier problema el dispositivo se restablecerá automáticamente.

El primer paso consistió en definir los parámetros de configuración del timer a utilizar. Deseamos obtener un intervalo de tiempo bien definido y que pueda ser variable. Necesitamos un tiempo muy corto para la transmisión de los bits y un tiempo largo para la señal de inicio del mensaje. En particular realizamos estos intervalos con una interrupción ya que la función delay no es lo suficientemente precisa.

Con el fin de lograr el objetivo mencionado se configuro el Timer en modo comparador, con reseteo de la cuenta al dar con el valor pedido y el preescaler varía según el tiempo que se desea obtener. Obteniendo así una constante de tiempo precisa y repetitiva que puede ser variada mediante el preescaler (ajuste grueso) y el valor del comparador (ajuste fino). Definido este modo de funcionamiento, para obtener los valores a utilizar se procedió a la programación y ajuste.

Esta etapa se realizó con la salida del micro conectada al osciloscopio y el mismo se-teado en disparo tipo Single. Es decir que cada vez que disparamos la salida veríamos en pantalla el frame de datos obtenido. Con este método, luego de establecer valores aproximados para el punto de comparación del timer, se realizó el ajuste fino.

Un punto final sobre el servidor consistió en darle al mismo la capacidad de conectarse a internet mediante el punto Wi-Fi que el usuario deseé. Luego de varias pruebas para obtención del ID de la red y su contraseña mediante un protocolo POST de HTTP se encontró una librería de Github[10] que brindaba el servicio deseado.

Esta librería iniciaba el módulo como Punto de Acceso (AP por sus siglas en inglés) para que el usuario pudiera conectarse con el mismo en su primer uso. Una vez conectado le muestra las redes disponibles y su potencia, luego el usuario debe proceder a la selección de la red a utilizar y la entrada de los datos correspondiente. Si la información es correcta,

el ESP8266 se convierte en un cliente, se conecta a la red deseada y continua con el código establecido. Cuando el mismo se reinicie buscará nuevamente la red establecida y si no logra conectarse se restablece como AP.

Esto da por solucionado nuestro objetivo, pero, aunque se conoce y se ha probado su funcionamiento, surge el problema de que debemos tener la computadora conectada para obtener la dirección IP del dispositivo. Esto se solucionó fijando la dirección IP del mismo y utilizando un pequeño servidor DNS.

Se considera que el servidor DNS puede dejarse para etapas más avanzadas del proyecto por lo que se vuelve a la configuración inicial (conexión mediante IP estático) y se trabaja sobre la misma con el conocimiento de la necesidad de cambiarlo llegado el momento.

## 5.2 Comunicación y control

El paso siguiente consistió en montar los microprocesadores en cuestión, en una protoboard y lograr la comunicación de los mismos en un ambiente simulado. Se utilizó un Arduino externo para simular la señal de cruce por cero y se hicieron las conexiones necesarias para la prueba. Véase la Fig.5.2.

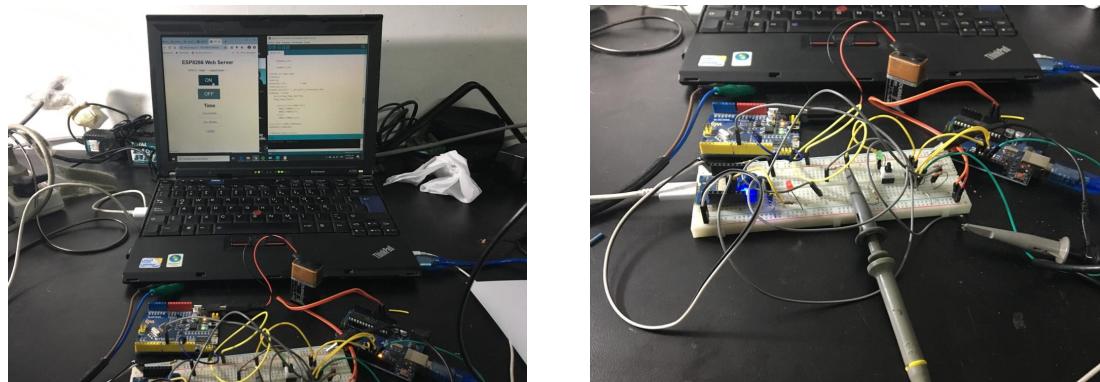


Figura 5.2: Imágenes del momento de programación de la comunicación simulada

El primer paso consiste en sincronizar el frame de datos del ESP8266 con la señal de cruce por cero y que el envío del mismo se realizará al apretar el botón de encendido “[ON]” en la página HTML proporcionada por el servidor. Luego de esto se procedió a

enviar no solo un frame, sino tres frames seguidos una vez presionado el botón para cumplir la configuración de mensaje establecida previamente. Los tiempos de este frame de datos y la verificación de su sincronización se realizó a través del osciloscopio.

Obtenido el frame deseado con su debida sincronización se procedió a programar el ATTINY13 con la capacidad de detectar el inicio de un mensaje y ante la detección del mismo comenzar la lectura correspondiente. Para lograr sincronizar la lectura del mensaje, se definió que una de las salidas cambiará de estado cada vez que se realice una lectura, así como también al iniciar el ciclo de lectura. Puede observarse lo obtenido en el osciloscopio en la Fig.5.3.



(a) Detalle de la comunicación.

(b) Detalle del frame de bits.

Figura 5.3: Detalle de la comunicación. Puede verse en amarillo el mensaje enviado con su señal de inicio del mensaje y dos de sus frames. En azul puede verse el instante de comienzo de la función de lectura de datos y los momentos de lectura.

En este último caso se diseñó toda la comunicación como una función separada a la que se llamaba al iniciarse el ciclo de lectura. Para facilitar esta etapa de desarrollo solo se tomó una muestra por bit y se tomó la misma como valor del bit. También se destaca que en este punto no implementamos los bits de paridad que tenemos establecidos.

Superada esta etapa se hizo una copia de las funciones obtenidas y con unos pocos ajustes se logró que el módulo central pudiera leer un frame de datos, así como el módulo periférico enviarlo. Llegada esta instancia se programó el dispositivo para que envíe un frame al apretar el botón de encendido y otro distinto al presionar el botón de apagado, con

el objetivo de encender o apagar una salida en el ATTINY13.

El objetivo planteado se superó sin grandes inconvenientes y en este punto se consideró que esta etapa del proyecto estaba superada, por lo tanto, se procedió a insertar los microprocesadores en sus debidos impresos. Se aclara que en este punto no se ha programado ningún protocolo de ACK como lo planteado en los diagramas de flujo. Simplemente se lee el frame recibido y se actúa respecto del mensaje leído.

## CAPÍTULO 6

### PROTOTIPO FINAL Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 6.1 Módulo central

El siguiente paso consistió en unir los microprocesadores con el hardware diseñado para los mismos. En el caso del módulo periférico esto resultó sencillo ya que se utilizó un zócalo para colocar el circuito integrado. En el caso del ESP8266 el mismo tuvo que ser soldado al impreso ya que es de montaje superficial.

El primer problema encontrado consistió en que al soldar el ESP8266 el pin de reset entró en contacto con el plano de tierra que se encuentra debajo de este dispositivo, provocando que el mismo no iniciara. Con paciencia se desoldó el mismo, se realizó un corte en el impreso para mantener distancia y se procedió a poner un aislante debajo de este componente.

Se comenzó probando el módulo central, para eso, con una fuente externa, se procedió a energizar con 3,3V el ESP8266 para descargar la última versión del programa y verificar su funcionamiento. Superado esto se alimentó el dispositivo desde la entrada general de 5V.

Se percibió que en principio que no se obtenían los resultados esperados, se notó entonces que debido a no tener alimentación de red no poseíamos la señal de sincronización. Para solucionar eso se instaló en la entrada de tensión del dispositivo el Variac con una tensión de salida de 220V para todas las pruebas realizadas. En este punto si bien la señal de cruce por cero existía aun no teníamos los resultados esperados.

Para discernir la causa del problema se procedió a reprogramar el microprocesador para enviar por comunicación serie el valor de la entrada que recibe esa señal. Resultó que el valor no mostraba cambios, explicando el porqué de nuestras dificultades. En la búsqueda

de información se encontró que los pines utilizados poseen funciones especiales del micro y no son fácilmente configurables como entradas o salidas. En particular parece que los mismos son utilizados por la memoria flash del microcontrolador y no pueden utilizarse excepto que se realice un cambio en el hardware [11].

Para solucionar este problema y debido a que se encontraban disponibles una gran cantidad de entradas y salidas de fácil uso, se cambió la entrada de la señal a un nuevo pin. Esto se aplicó en el prototipo cortando la pista en cuestión y soldando un cable hasta la posición deseada. Este mismo procedimiento se realizó con la salida utilizada para encender el triac ya que inicialmente se encontraba en un pin cuya finalidad era inapropiada.

Realizada esta modificación se volvió a descargar la versión previa en el dispositivo, (cambiando el pin utilizado), y reintentar la prueba. Esta vez se obtuvieron los resultados esperados, dando por funcional el módulo central.

Observando que en este punto de logro enviar el frame de datos en el momento deseado tal y como esperábamos se pasó a realizar las pruebas del módulo periférico.

## 6.2 Módulo periférico y prueba del sistema

La instalación del microprocesador del módulo periférico se diseñó para que fuera sencilla, así que con una fuente externa y el Variac se procedió a analizar la existencia de la señal de cruce por cero antes de enviar un frame de datos. Se recuerda que con este dispositivo no se posee comunicación serial, por lo que no tenemos manera de observar las tareas que está realizando, si no es por medio de un pin configurado como salida.

Verificada con éxito la existencia de esta señal se procedió a conectar en la misma red el módulo central y enviar un mensaje. Para esta primera prueba se dispuso una punta del osciloscopio conectada al pin de salida del mensaje desde el módulo central, y otra punta en el pin de entrada de la comunicación del módulo periférico. Esta prueba fue exitosa y se pudo observar un efecto esperado, pero no calculado, ya que hay una demora introducida por el modem al realizar la interpretación de la señal. Esta demora debía ser corregida en

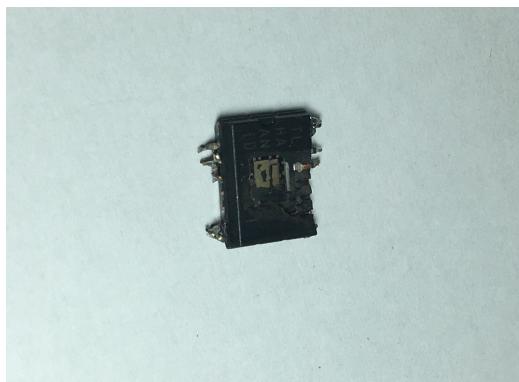
las funciones de lectura de los dispositivos por medio de un ajuste fino con el osciloscopio.

Lamentablemente antes de tomar una imagen de muestra de lo arriba mencionado un error humano dañó los módems de ambas placas dejándolas inutilizables. El error consistió en que en el momento de la prueba un cable utilizado como punto de medición entró en contacto con 220VAC quemando ambos dispositivos. Dado que no se poseían componentes de reemplazo, el proyecto se demoró hasta conseguirlos.

Se procedió entonces a desoldar cuidadosamente las partes dañadas y reemplazarlas. Una vez terminado este tedioso trabajo, se probó que los nuevos componentes generaran la debida señal de 125 KHz si la entrada así lo determinaba. Comprobado esto, se consideró que era un buen punto para comenzar a realizar las pruebas con las fuentes correspondientes a cada dispositivo.

Se conectó la fuente del módulo central, la cual es una fuente comercial y externa al impresor, y se observó que el mismo funcionaba correctamente. En el caso del otro impresor la conexión de la fuente resultaba más compleja. La misma debía ser soldada sobre los postes definidos para esta función.

Al conectar esta fuente con la nueva carga presenciamos una explosión del dispositivo generando el daño presentado en la Fig.6.1. Por precaución se había obtenido un TDA5051 extra por lo que poseíamos un reemplazo.



(a) Vista general



(b) Vista por medio de un microscopio x2.

Figura 6.1: Estado del TDA5051 luego de la explosión.

La razón de este inconveniente puede comprenderse en lo especificado en la página 36 de la hoja de datos AN10903: “... pero no es posible conectar el modem con un filtro LC. La conexión del modem a tierra se pierde, por lo tanto es mandatorio acoplar mediante un transformador de alta frecuencia” [2].

Se evaluó el daño causado analizando si existían más componentes dañados. Todos los capacitores fueron extraídos y medida su capacidad así como los inductores. El módulo central no se encontraba conectado en el momento en que esto sucedió, así que no se esperaban daños en el mismo. La evaluación de daños dio a conocer que excepto un par de diodos todo el resto de los componentes se hallaban sanos.

Se definió realizar un nuevo impreso de la parte de control y comunicaciones, manteniendo el mismo impreso para la parte de potencia, ya que no había sufrido grandes daños. Se realizaron modificaciones en la fuente para evitar que esto volviera a ocurrir. Se optó por usar una fuente con recorte de media onda en vez de onda completa. Se optó por esta opción ya que, con muy pocos cambios, se podía reutilizar la placa actual de la fuente y la capacidad de corriente disponible era, en principio, suficiente. Previo a diseñar esta fuente y fabricarla se verificó si la corriente máxima entregada era suficiente.

Este último punto fue verificado con la nueva placa de comunicaciones, con la misma se realizó la medición de la corriente consumida y se pudo determinar que era factible utilizar la fuente de recorte de media onda.

Superada la fabricación del nuevo impreso se procedió a conectarlo con una fuente externa y evaluar su consumo de corriente. Este tuvo como pico 45mA, por lo que la fuente de media onda (La cual puede entregar como máximo 50mA) resulta utilizable. Por lo que se procedió a conectar la fuente (Aunque se agregó un fusible de 100 mA a la entrada de la misma) y probar el funcionamiento del sistema.

Se presentó un inconveniente más que es la pérdida del ATTINY13, el mismo dejó de funcionar. El mismo fue reemplazado por un ATTINY85 [12] ya que fue lo que se encontraba disponible en el mercado. Luego de esto se procedió a la etapa final de pruebas.

### **6.3 Etapa final de las pruebas**

Conociendo que ambos equipos funcionan correctamente la prueba final consistía en lograr el objetivo del trabajo. Es decir, se debía poder habilitar y deshabilitar el paso de corriente desde un dispositivo móvil.

La primera prueba se realizó utilizando un variac a la entrada de la red y aumentando la tensión lentamente. En esta prueba se notó un problema en la programación del frame de datos. El problema es que luego de la transmisión del primer frame de datos se deja el canal en alto y genera que luego de terminada la transmisión de 3 frames el receptor vuelve a disparar el ciclo de lectura, aunque no se esté por recibir ningún dato. Por lo tanto, se observó que podíamos cambiar el estado de la salida una única vez.

Se procedió entonces a reprogramar el ESP8266 poniendo el canal a cero cuando terminara cada frame. En este punto surgió un problema, luego de conseguir un programa funcional el componente se dañó y no pudo volver a ser programado. Debido a que el firmware del módulo ESP cumple con los requerimientos propuestos no se consideró necesario reemplazarlo, aunque faltan detalles por reprogramar.

Finalmente, se realizaron las pruebas del sistema completo de manera exitosa. Se pudo definir el estado de una salida mediante un dispositivo móvil, en este caso mediante una página HTML. Con estos resultados se consideraron cumplidos los objetivos de conseguir un sistema de comunicación mediante la red eléctrica, compacto y con conectividad wifi.

## CAPÍTULO 7

# CONCLUSIONES

### 7.1 Conclusión

Se destaca que, luego de todo el desarrollo aquí comentado, logramos cumplir el objetivo planteado. Se considera que el resultado es satisfactorio, resultando en una buena base para proyectos futuros. A continuación se detalla algunos de los puntos que consideramos deben ser agregados en futuros trabajos.

### 7.2 Modificaciones a futuro

#### 7.2.1 Implementación de protocolos de comunicación

En el trabajo realizado todavía no fueron implementados los protocolos de comunicación diseñados. Queda por implementar el envío del bit de paridad en cada frame de datos, el acknowledge y luego los protocolos correspondientes para cada tipo de mensaje.

Se espera que ese uso de los bits de paridad y la implementación de acknowledge aumenten en gran medida la confiabilidad de la transmisión de datos. En caso de requerirse una confiabilidad mayor puede recurrirse a usar códigos hamming.

Quedan también por programar las respuestas correspondientes del módulo según el código recibido. No está demás mencionar que los comandos básicos son, en principio, los planteados en la norma x10 con las variaciones o los agregados que se consideren necesarios.

#### 7.2.2 Diseño del servidor Web

En este momento nuestro servidor web está muy lejos del objetivo final. En este punto queda mucho trabajo por realizar. La versión final debe poseer la opción de agregar nuevos

dispositivos, ejecutando en este paso el protocolo de identificación de nuevos dispositivos. También debe permitir al usuario agrupar los dispositivos periféricos en áreas tales como “Cocina”, “Baño”, etc. y permitir activar o desactivar el conjunto con una sola acción.

También se buscará que el servidor web sea accesible desde cualquier lugar por lo que debo configurar un servidor DNS y un manejo de certificación del usuario que brinde un buen nivel de ciberseguridad. A su vez el dispositivo debe ser capaz de conectarse a la red automáticamente cuando esté disponible y en caso de no estarlo convertirse en un punto de acceso para que el usuario pueda controlarlo ante la falla de la red. Este último punto ya se encuentra bastante avanzado aunque no figura en la versión final presentada.

Un último detalle que no es menor es que se debe trabajar en la interfaz de usuario para que la misma sea intuitiva y contar con un formato profesional.

#### 7.2.3 Aplicación de control de intensidad

Dado que el manejo de la corriente se realiza mediante un triac y que poseemos en la entrada del micro la señal de cruce por cero resulta posible controlar la potencia suministrada. Este es un trabajo a realizar que puede dar como resultado el manejo de la intensidad de la iluminación.

Este control implica un trabajo sobre el traspaso de información al módulo central ya que en tal caso no debe comunicarse solo el estado del dispositivo, sino la intensidad actual de ser requerida, y la nueva intensidad. Los códigos a utilizar para el traspaso de esta información se consideran en la norma x10 pero deben considerarse los protocolos a ejecutar y si el uso de los códigos tal y como son planteados da el resultado deseado.

#### 7.2.4 Capa de personalización y el poder de internet

Un punto muy importante a trabajar es permitirle al usuario tener su propia capa de personalización. La idea es permitirle diseñar funciones que le resulten convenientes según su rutina. Para dar un ejemplo, imaginemos que el usuario en cuestión vive solo y desea

saber que todos los dispositivos de su casa han sido desactivados al irse. El mismo podría por ejemplo mantener presionado la ficha de luz que se encuentra más cerca de la salida durante 5 segundos y generar el apagado de todos los dispositivos deseados, lo mismo es válido para volver a activarlos.

La capa de personalización requiere una gran cantidad de trabajo pero es el punto más innovador de todo el sistema ya que al estar conectados a internet podemos acercarnos cada vez más al concepto de casa inteligente. No solo podemos configurar que se active un sistema al leerse cierto valor en un sensor, sino que mediante el sistema Si Esto Luego Aquello [13] (IFTTT por sus siglas en inglés) podemos conectar nuestra casa con todas nuestras aplicaciones favoritas y utilizar el comando de voz de Google.

Se podrán crear eventos en nuestro calendario del teléfono y que nuestra cafetera tenga el café listo para esa reunión de la tarde y la temperatura de la sala en unos cómodos 24 grados antes de que lleguemos. Compartiendo nuestra ubicación, nuestra casa puede recibirnos con la luz prendida, la comida calentada en el microondas y el televisor en nuestro canal favorito. Podría enviarnos un mail si se produce alguna acción inesperada, entre otras funcionalidades.

Sin lugar a dudas se considera que este es el punto más interesante para continuar de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] NXP, *TDA5051A Home automation modem*. Rev. 5-13 January 2011.
- [2] N. A. N. AN10903, *TDA5051A ASK power line modem*. Rev. 1—17 December 2010.
- [3] AI-Thinker, *ESP-12F WiFi Module*. Versión V1-2018.
- [4] hi Link, *Ultra-compact power module HLK-PM01*.
- [5] ATMEL, *8-bit Microcontroller with 1K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny13*. Rev. 2535J–AVR–08/10.
- [6] M. A. N. AN236, *X-10® Home Automation Using the PIC16F877A*. 2010 Microchip Technology Inc. dirección: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00236b.pdf>.
- [7] N. A. N. UM10495, *TDA5051A lighting master-slave demo board OM13314*. Rev. 3—18 December 2013.
- [8] Mouser.com, *Mouser electronics*. 2020 [Online]. dirección: <https://www.mouser.com/>.
- [9] R. N. Tutorials, *Build an ESP8266 Web Server – Code and Schematics (NodeMCU)*. Updated August 6, 2019. dirección: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-web-server/>.
- [10] Tzapu, *WiFiManager Library*. Ultima Rev. 22/01/2020. dirección: <https://github.com/tzapu/WiFiManager>.
- [11] E. E. D. Z. D. Forum, *GPIO9 and GPIO10 cause wdt reset*. [Ultimo acceso: 10-may- 2020]. dirección: <https://bbs.espressif.com/viewtopic.php?t=654>.
- [12] ATMEL, *Atmel 8-bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash- ATtiny25/V / ATtiny45/V / ATtiny85/V*. Rev. 2586QS–AVR–08/2013.
- [13] ifttt.com, *IFTTT Home Page*. 2020 [Online]. dirección: <https://ifttt.com/>.

# **APÉNDICES**

## APÉNDICE A

### ARMÓNICOS DE FUENTE SWITCHING COMERCIAL

Se destacó en el informe que debía verificarse que si la fuente comercial seleccionada (Hlk-pm01[4]) cumplía con el requisito de no generar armónicos en la zona de 125Khz. Para comprobar su comportamiento se procedió a medir la misma en distintas condiciones de carga y observar el resultado. Para realizar la medición se procedió a conectar las puntas del osciloscopio en la entrada de la fuente y se utilizó la configuración observada en la Fig. A.1 que analizaremos en profundidad a continuación.

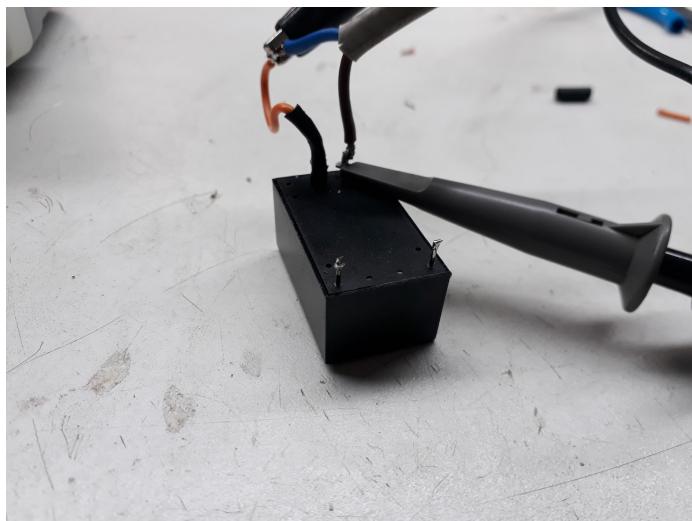


Figura A.1: En la imagen puede observarse la conexión de las puntas sobre la entrada de tensión de la fuente.

Para la medición se utilizó la función de transformada rápida de Fourier (fft) de un osciloscopio digital marca UNI-T modelo UD2052CL y la configuración de la herramienta utilizada se puede observar en la Fig. A.2 Es necesario aclarar el criterio de selección de la ventana de la configuración. Para comenzar se seleccionó la ventana rectangular dado que es el que menos distorsiona las frecuencias lejanas a la central evitando que tomemos armónicos como ruido además de permitiéndonos observar distorsiones no esperadas. El

segundo criterio de importancia es que se trabajó en dBv, esto es así porque al trabajar en esta unidad se ven observa con mayor facilidad los valores bajos. En las Fig. A.3 puede verse la entrada y la diferencia al utilizar dB o mV.

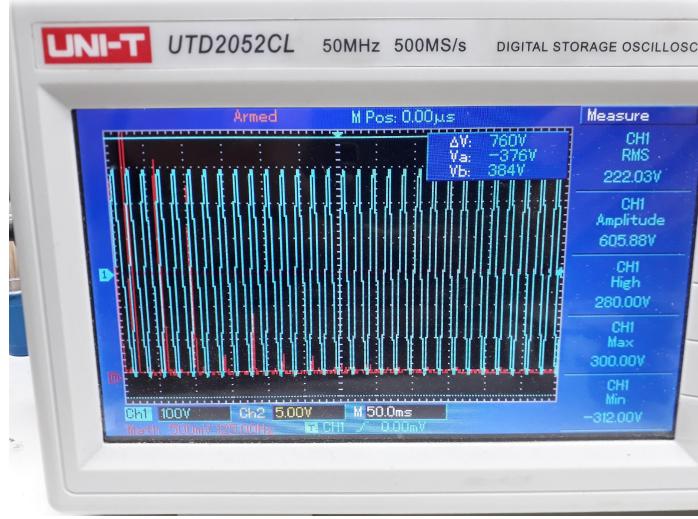
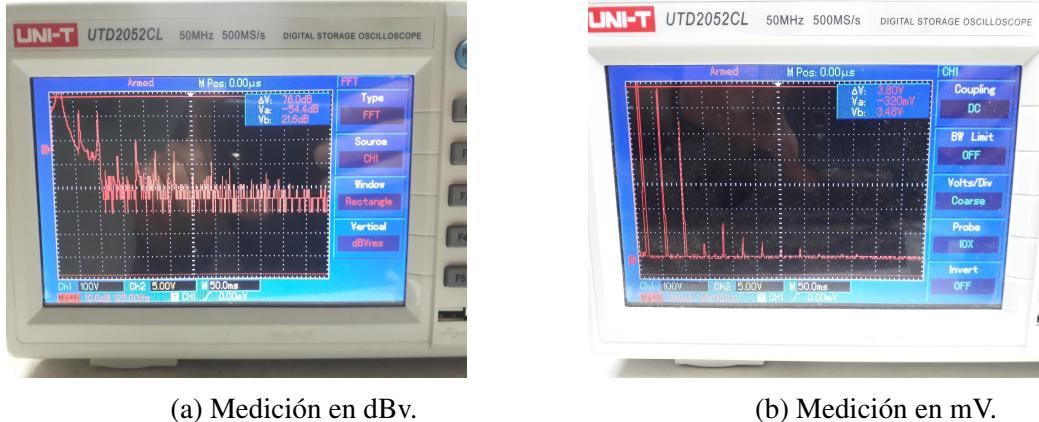


Figura A.2: En la pantalla se observa la alimentación de la fuente en azul y en rojo la fft observada en la imagen A3(b).



(a) Medición en dBv.

(b) Medición en mV.

Figura A.3: Comparacion entre la medicion de la fft en dB y mV

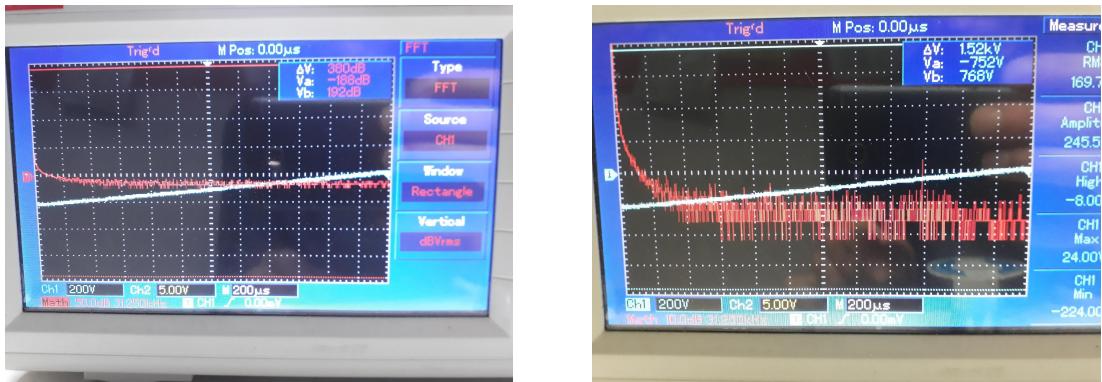
Mencionado lo anterior se procedió a evaluar el dispositivo con las cargas de infinito/16.4Ohm/9,85 Ohm generando corrientes de 0mA/305mA/508mA respectivamente. Las resistencias de carga consistieron en el caso de 16,4Ohm de dos resistencias de 8,2Ohm 7W conectadas en serie. La de 9,85Ohm se consiguió con el paralelo de dos resistencias de

3,3Ohm 5W en serie con una resistencia de 8,2Ohm 7W. Las resistencias utilizadas pueden verse en la fig. A.4.



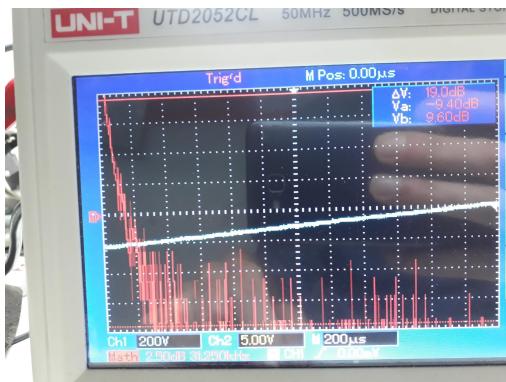
Figura A.4: Resistencias utilizadas para cargar la fuente y caracterizarla en frecuencia.

En los tres casos se detectó lo mismo (Ver Fig. A.5).

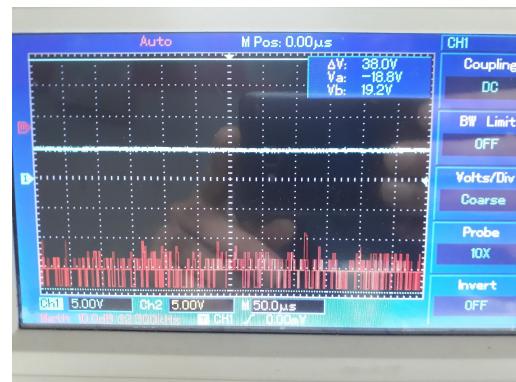


(a) Espectro con una escala de 31.25kHz/div horizontales y 50 dBv/div verticales.

(b) Misma medición pero con una escala de 10 dBv/div.



(c) Mismo caso con 2.5dBv/div.



(d) se observa la salida de la fuente con una escala de 62.50kHz/div y 10dBv/div.

Figura A.5: Espectro obtenido observado en diferentes escalas.

Obsérvese que en las imágenes se varía la ganancia de la entrada pasando desde los 50 dB/div en la primera hasta los 2.5dB/div. Podemos observar que en los 125kHz (4 división vertical) no encontramos señales significativas, todo se encuentra por debajo de los 2dB. También se destaca que no tenemos componentes armónicas observables en la salida de la misma.

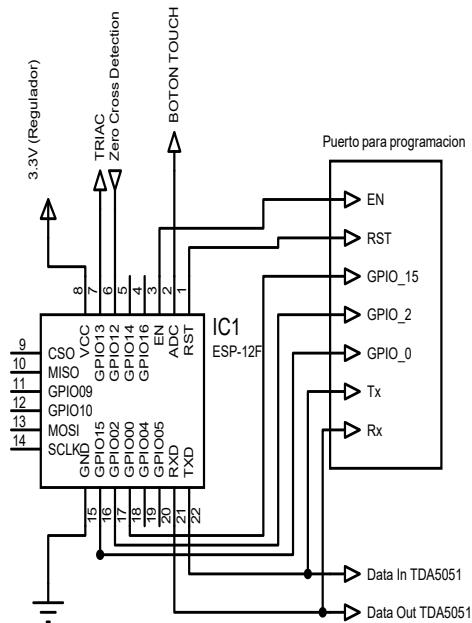
En base a todo esto se concluye que esta fuente cumple el requisito de respuesta en frecuencia necesario para este proyecto.

**APÉNDICE B**  
**ESQUEMÁTICOS**

## Microprocesador de modulo central

Modulo con internet (ESP8266-12E)

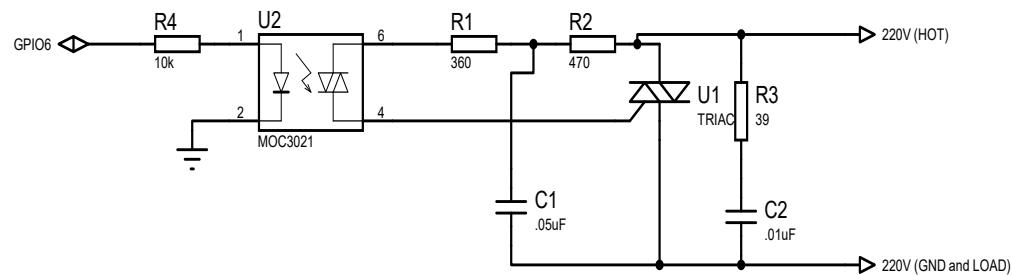
Trabaja con 3.3V de alimentación



## Potencia

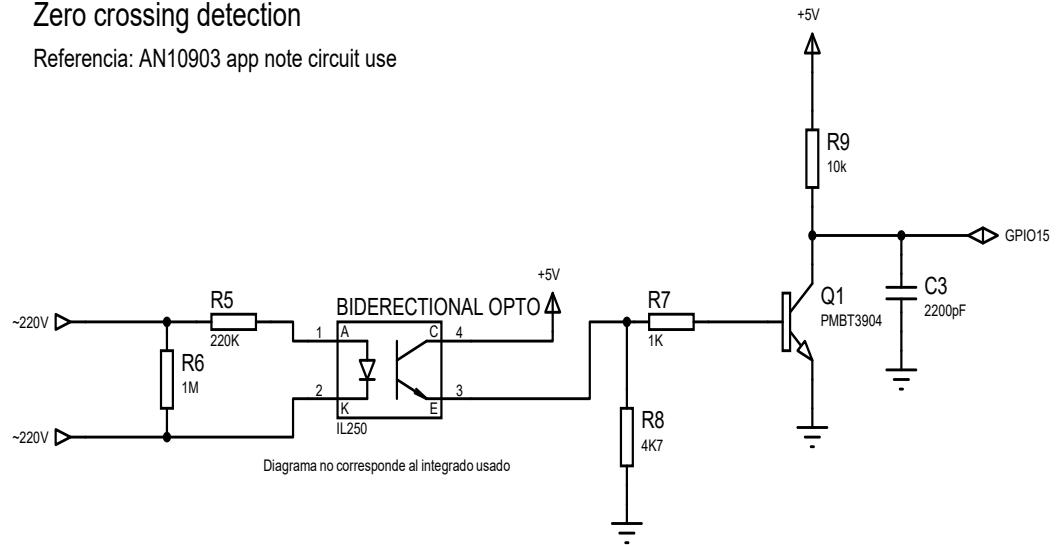
Referencia: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MOC3023M-D.PDF>

Uso tipico segun la hoja de datos



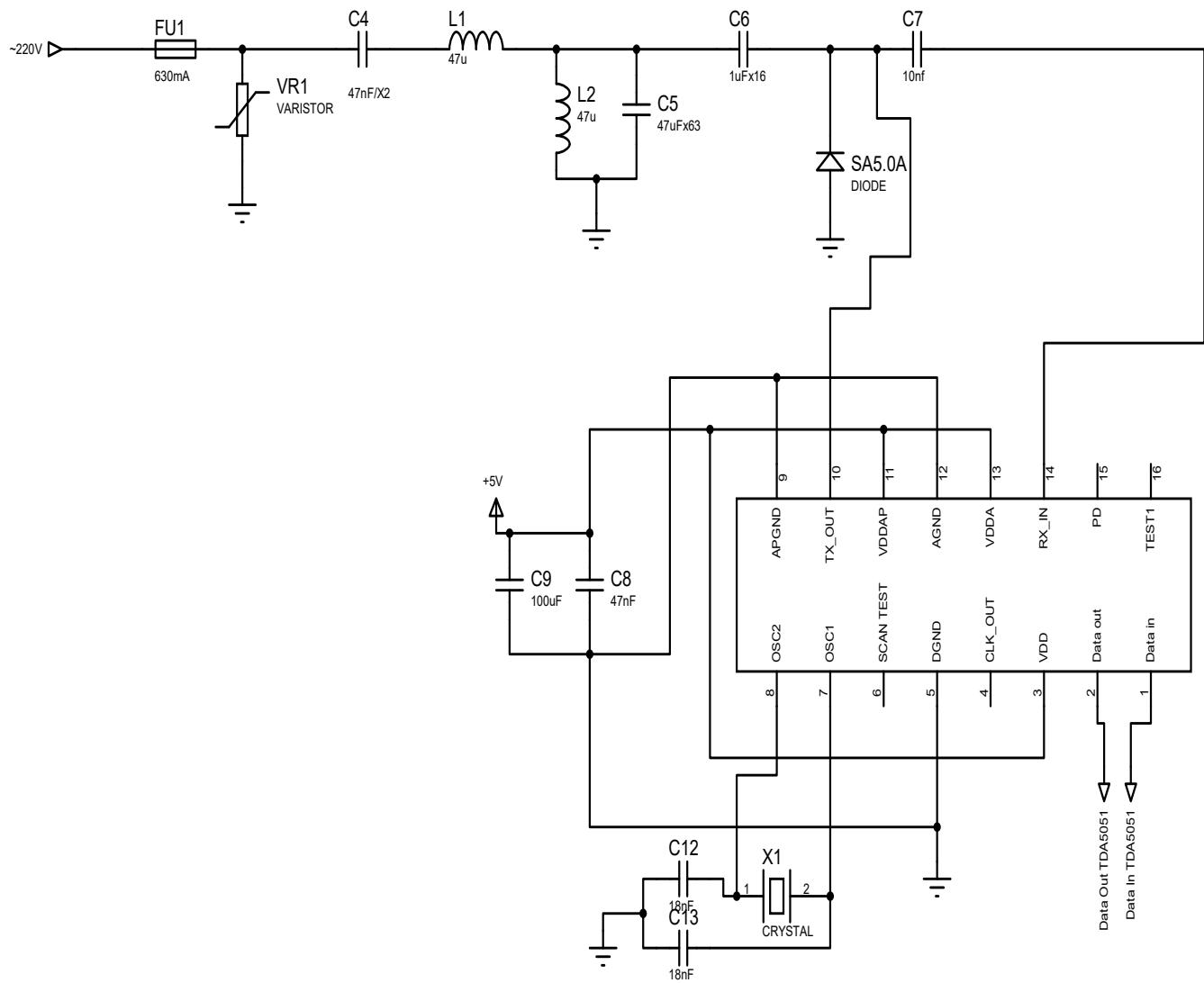
## Zero crossing detection

Referencia: AN10903 app note circuit use

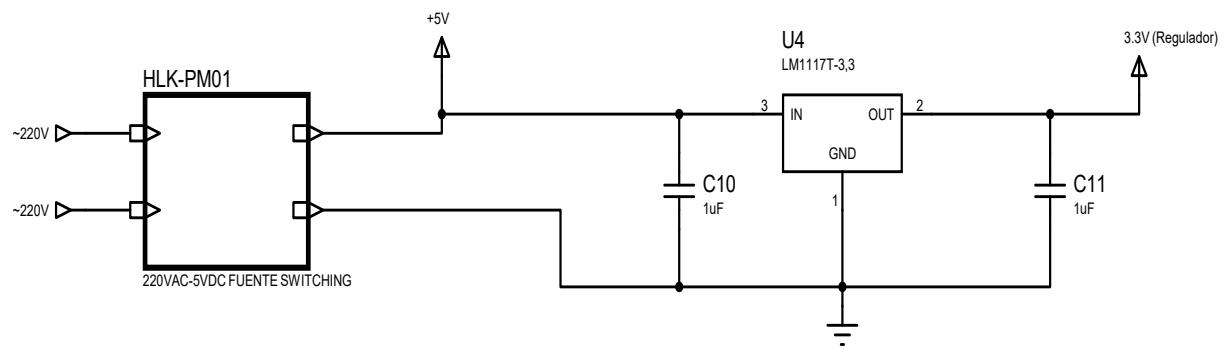


## Tx/Rx TDA5051

Reference: TDA5051 Datasheet (Page 15)

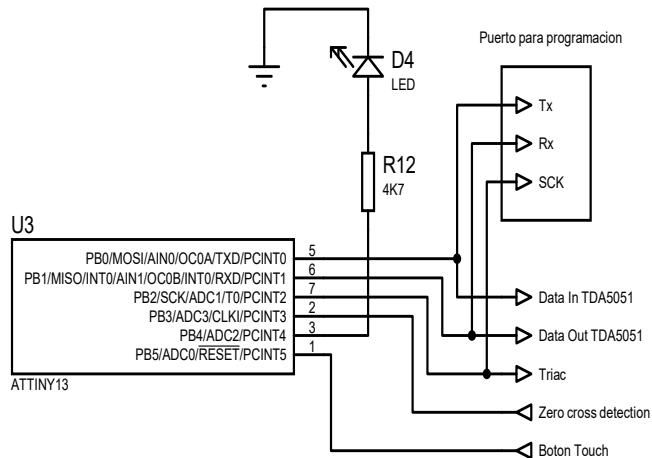


## Fuente



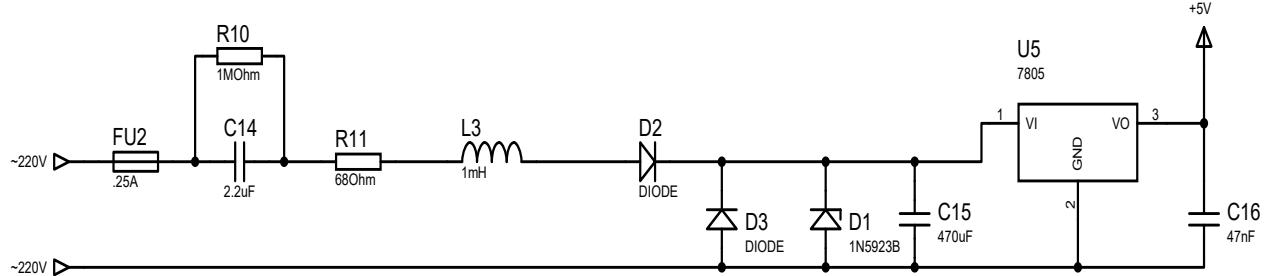
## Microprocesador de modulo periferico (No utiliza la fuente del modulo central)

Microprocesador utilizado (ATTINY13)



## Fuente modulo periferico

Ver pag. 35 de nota de aplicacion AN10903 de NXP



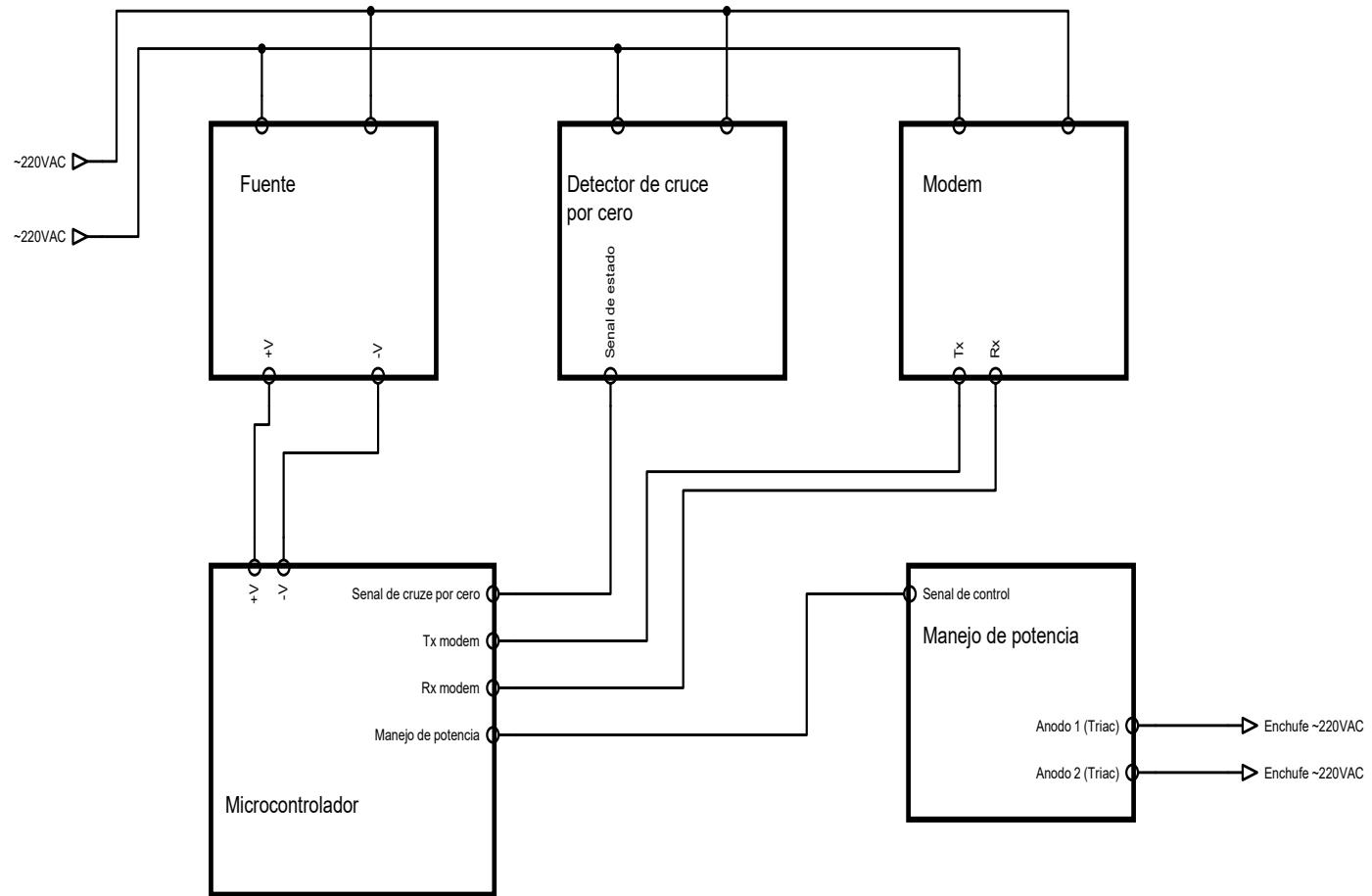


Diagrama en bloques general