



*Universidad Tecnológica Nacional*  
*Facultad Regional Villa María*  
*Departamento de Ingeniería Electrónica*  
*Cátedra Trabajo Final de Grado*

## **Sistema centralizado de interruptores para la automatización domiciliaria.**

Autor/es:

Arias Maboli, Damián.

Director: Ing. Fabián Sensini.

**2022**



**Acreditación:**

**Fecha:**

**Comité Evaluador**

**Presidente:** Ing. Fabián Sensini.

**1° Vocal:** Ing. José Luis Catalano.

**2° Vocal:** Esp. Ing. Héctor Ferrari.



## **Dedicatorias**

*A mi familia en general, pero especialmente a mis padres, por el soporte constante durante toda la carrera universitaria.*

*A mis compañeros, amigos y profesores que fueron los que hicieron más sencillo y productivo mi paso por la universidad.*



## **Agradecimientos**

*Agradezco a toda la comunidad educativa de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. A todos aquellos que han contribuido con mi formación.*

*También se reconocen a todas esas personas que, directa o indirectamente, contribuyeron para el desarrollo de este proyecto, brindando su conocimiento o ayuda.*

*Por último, se hace especial mención a la cooperativa COTAGRO CAL, que fue de vital importancia no solo para la construcción de este proyecto, sino para el avance en la carrera en general.*



---

## Resumen

*En la actualidad, los equipos y sistemas utilizados en la automatización domiciliaria, tienen costos elevados y son complejos de adoptar en instalaciones eléctricas ya finalizadas. Es por esto, que en este proyecto, se buscó generar un sistema centralizado, coordinado y compacto para lograr una automatización básica domiciliaria, centrándose, especialmente, en el manejo de luminarias y tomacorrientes, que son comunes a todos los sistemas eléctricos de un hogar.*

*El proyecto consta de módulos separados. Uno de ellos, actúa como sistema central, y se encarga de coordinar y controlar los demás módulos. Cuenta con conexión WiFi, para que el usuario conecte el sistema a su red inalámbrica domiciliaria y pueda, desde un servidor Web, comandar los distintos interruptores. Como una funcionalidad adicional, este módulo puede trabajar con el mismo servidor para lograr distintos programas de automatización temporales.*

*El segundo módulo (que pueden ser hasta 4), es en el que se incluyeron los interruptores. Éste, cuenta con dos interruptores electromecánicos, uno para manejar corrientes de hasta 20 [A] y otro para corrientes de hasta 10 [A]. A su vez, contiene dos interruptores electrónicos, que pueden manejar corrientes de hasta 10 [A] y tienen la posibilidad de variar la tensión eficaz entregada a la carga, a través de un TRIAC. Asimismo, podrá utilizar un módulo extra para medir iluminancia.*

*Se trabajó con dispositivos de la serie megaAVR de Atmel, hoy de Microchip, para el control de las conexiones inalámbricas, el manejo de los interruptores y de las funcionalidades extras.*

*El servidor Web se programó en base al lenguaje Python 3, en una PC con Windows 10 que se mantiene conectada a Internet para que el módulo central pueda comunicarse con él. El dominio es "domoarg.com" y se mantiene siempre en línea para que el usuario pueda acceder con un nombre y contraseña.*

*Los distintos módulos se comunican con la central de forma inalámbrica, mientras que el usuario tiene interacción solo con el servidor Web.*

**Palabras Claves:** Domótica, módulos, WiFi, servidor Web, inalámbrico.



---

## Abstract

*Currently, the equipment and systems used in home automation have high costs and are complex to adopt in completed electrical installations. This is why, in this project, we sought to generate a centralized, coordinated and compact system to achieve basic home automation, focusing especially on the management of lights and outlets, which are common to all electrical systems in a house.*

*The project consists of separate modules. One of them acts as a central system, and is responsible for coordinating and controlling the other modules. It has a WiFi connection, the user can connect the system to their home wireless network and can, from a Web server, command the different switches. As an additional functionality, this module can work with the same server to achieve different temporary automation programs.*

*The second module (which can be up to 4), is where the switches were included. It has two electromechanical switches, one to manage currents up to 20 [A] and another one for currents up to 10 [A]. Also, it contains two electronic switches, which can manage currents up to 10 [A] and have the possibility of varying the effective voltage delivered to the load, through a TRIAC. Likewise, it may have an extra module to measure light intensity.*

*We worked with devices from the Atmel megaAVR series (Microchip), to control the wireless connections, the management of the switches and the extra functionalities.*

*The Web server was programmed based on the Python 3 language, on a Windows 10 PC, that is connected to the Internet so that the central module can communicate with it. The domain is “domoarg.com” and it is always kept online so that the user can access it with a name and password.*

*The different modules communicate with the central wirelessly, while the user has interaction only with the Web server.*

**Keywords:** *home automation, modules, WiFi, Web server, wireless.*



---

## ÍNDICE

<b>Título</b>	<b>Página</b>
Dedicatorias .....	3
Agradecimientos .....	4
Resumen .....	5
Abstract.....	6
Introducción.....	8
Análisis del problema .....	8
Análisis de sistemas existentes .....	8
Descripción de las actividades del proyecto .....	9
Objetivos.....	9
Objetivos generales.....	9
Objetivos particulares .....	10
Diseño del Proyecto.....	10
Revisión de requerimientos y parámetros de operación.....	10
Selección de componentes y dispositivos.....	12
Diagrama en bloques del dispositivo.....	28
Descripción de cada una de las partes .....	29
Diagrama de flujo .....	44
Evaluación Final del Sistema .....	45
Preparación del prototipo con materiales finales.....	45
Montaje y ensayo real del prototipo .....	55
Análisis del sistema en campo.....	71
Presentación final del prototipo.....	78
Conclusiones.....	81
Anexo I.....	82
Anexo II.....	86
Anexo III .....	89
Bibliografía.....	93



---

## **Introducción**

### **Análisis del problema**

En la vida cotidiana, muchas veces ocurre que no se tiene una idea exacta de que aparatos eléctricos (o luminarias), se encuentran conectados en cada momento, pudiendo generarse gastos innecesarios de energía. También, podría pasar, que una persona no se encuentre permanentemente en el hogar y necesite coordinar y controlar el encendido de ciertos dispositivos (ej. Bomba de filtrado de una piscina) o de alguna iluminación específica (ej. Encender la luz de la vereda exterior a las 8:00 PM). Para todas estas funciones, se necesitaría un sistema de automatización, que también nos ayude a controlar el consumo energético del hogar.

La implementación de un sistema simple de automatización en el hogar, hoy por hoy, requeriría de una inversión de alto costo, al mismo tiempo que, si ese sistema se quisiera aplicar en alguna instalación eléctrica existente, se necesitarían cambios costosos en las formas de conexión de los distintos interruptores y puntos de conexión.

Lo que se piensa al momento de realizar este proyecto, es un sistema de fácil conexión para el hogar, donde el usuario pueda controlar, de forma simple y remota, las luminarias y ciertos tomacorrientes. El sistema, tiene conexión directa con un servidor Web que permanece constantemente conectado a Internet, para que el usuario tenga acceso a las configuraciones y datos, desde cualquier lugar y con cualquier dispositivo que cuente con conexión a Internet.

En base a las características antes mencionadas, se puede decir que el equipo desarrollado, aplica las cualidades más básicas del denominado “Internet de las cosas” (en inglés, Internet of Things, abreviado como IoT). Esto, abre muchas otras posibilidades ya que este tipo de desarrollos IoT, conlleva a la recolección de datos por parte de múltiples dispositivos, para reducir la influencia humana en cuanto a la toma de decisiones. Con un mayor desarrollo, se podría lograr que este sistema genere una automatización domiciliaria más compleja, donde el usuario tenga menor inferencia y las decisiones se basen en parámetros medidos (temperatura, humedad, iluminancia, horas del día, rutinas), que podrán subirse a Internet y posibilitarán la interacción con muchos otros dispositivos.

### **Análisis de sistemas existentes**

Actualmente, existen muchos equipos que prestan alguna función para la automatización del hogar. Algunos de ellos poseen conexión WiFi, otros bluetooth y otros hasta permiten una conexión a través de Internet, gracias a algún servidor especial. La mayoría de estos equipos tienen funciones similares a las que se presentan en este proyecto, pero sus costos de adquisición e implementación son mucho más elevados, sin contar que para los equipos más complejos, muchas veces se requiere abonar por el uso de algún servidor Web.

Gran parte de los equipos que trabajan para lograr accionar interruptores o luminarias de forma remota o automática, de los que se encuentran en el mercado, sirven





---

para manipular de a un dispositivo por vez, entonces, si se quisiera manejar muchas variables (ej. Dos tomacorrientes y dos luminarias), se necesitaría un gran número de equipos, que al conectarse a la red WiFi domiciliaria, serian un gran problema para la estabilidad del enrutador o para la red en sí.

Los dispositivos que trabajan directamente para domótica, son costosos y son más fáciles de implementar en instalaciones eléctricas nuevas, es decir, desde el momento de la construcción del hogar.

Por último, encontrar un equipo, que además de tener una conexión a Internet, pueda variar la tensión eficaz entregada a una carga, se hace muy difícil en la actualidad. Esto, por ejemplo, se puede utilizar para controlar el consumo eléctrico o para tener una variación del nivel de iluminación del hogar; también permite controlar la velocidad de algunos pequeños electrodomésticos, lo que puede resultar muy útil.

### **Descripción de las actividades del proyecto**

Como ya está fijado, el sistema cuenta con dos módulos por separado. El primero, actúa de central y es el encargado del control completo de la automatización en sí. Este, intercambia información con el Servidor Web y es el puente entre el Usuario y el segundo módulo. Además, es quien permite la conexión WiFi del sistema y habilita a las personas para realizar las modificaciones que deseen, desde cualquier dispositivo que cuente con Navegador Web.

El módulo de interruptores, que también puede denominarse, módulo de periféricos, es el que tendrá control directo sobre los tomacorrientes y luminarias. Desde aquí, se realizan las conexiones eléctricas y se entregan las señales de potencia a los distintos dispositivos que se conectan al sistema. No posee conexión WiFi, ya que tiene un enlace inalámbrico directo con el principal y es de este último, de donde obtiene la información necesaria. El control de potencia, es otra de las características destacadas de este dispositivo, como así también el sensor de luz, que permite un control de luminarias más eficiente.

Por último, el tercer factor de este proyecto, es el Servidor Web. Aquí, se encuentra el entorno gráfico donde el Usuario puede modificar los parámetros del sistema, variando el encendido o apagado, de cualquiera de los interruptores. Para tener un control de qué persona se encuentra conectada en cada dispositivo, se precisa de la generación de un Usuario único, con su respectiva contraseña y configuración, que son almacenados por el Servidor.

## **Objetivos**

### **Objetivos generales**

Para generar un sistema que cumpla con las expectativas, resulta conveniente que se logre:

- Mantener un bajo coste para su adquisición.



- 
- Permitir una fácil conexión en instalaciones eléctricas existentes y futuras.
  - Ser lo suficientemente compacto, como para ser cómodamente ubicado.
  - Tener un sistema de control simple y centralizado.
  - Ser confiable para mantener un funcionamiento continuo.
  - Poseer una interfaz intuitiva para el usuario.
  - Permitir al usuario un control remoto de los interruptores.
  - Tener un mantenimiento bajo o nulo.

### **Objetivos particulares**

A continuación se nombran los objetivos para cada módulo en específico:

Para el módulo del sistema central, se pretende que:

- Utilice la red WiFi existente y no genere costos adicionales para su conexión.
- Tenga un control de la tensión de red, para tomar decisiones ante anomalías.

Para el módulo de interruptores, se requiere que:

- Sus canales estén protegidos ante excesos de corriente.
- Tenga al menos un canal, donde se pueda cambiar la tensión eficaz entregada a la carga.

Respecto del módulo de iluminancia, se requiere que sea robusto, compacto y confiable en su medición.

## **Diseño del Proyecto**

### **Revisión de requerimientos y parámetros de operación**

Para cumplir con los objetivos de este proyecto, a continuación, se describen cuáles son las características mínimas con las que debe cumplir el sistema.

En primer lugar, la tensión de alimentación de los módulos debe ser igual a la de la red doméstica para Argentina, 220 VAC, para que pueda ser utilizado en cualquier hogar del país. Para cumplir este punto, es necesario encontrar o generar una fuente de alimentación que permita alimentar a todos los componentes del sistema, tanto electromecánicos como electrónicos, y que al mismo tiempo, sea confiable y durable.

Como se trata de la red de distribución eléctrica domiciliaria, las fluctuaciones en los niveles de tensión eficaz son comunes, estas variaciones van de los 150 VAC a los 240 VAC en niveles críticos. Por lo tanto, la fuente que alimente al sistema, deberá soportar estos cambios y suministrar niveles de tensión más estables a los componentes de los módulos.

El medidor de tensión, también tiene el deber de obtener valores en los rangos



---

críticos (150 VAC a 240 VAC), mientras que los valores que se encuentran por debajo o por encima de dichos niveles, no son considerables para el sistema y se piensan como situaciones atípicas que el equipo probablemente no pueda manejar.

La conexión con la red WiFi debe ser simple, para que cualquier usuario pueda hacerlo sin mayores inconvenientes. Al mismo tiempo, esta conexión no debe requerir mucha más influencia por parte del usuario, una vez que se complete el primer enlace. Además, se debe tener un control contante y activo para dar aviso, si llegase a ocurrir un corte de conexión.

Los interruptores de los módulos de interruptores, deben ser fiables y tener una vida útil considerable, para que el equipo pueda trabajar correctamente durante un tiempo prolongado. A su vez, estas llaves o relés, deben poder soportar las corrientes de trabajo y ser protegidas ante excesos de esos niveles.

La conexión entre los módulos periféricos (módulos de interruptores) y el principal, también debe hacerse por conexión inalámbrica, con la diferencia principal, en que estos, no deben conectarse a la red WiFi del domicilio, pero si a la red que ofrece el principal. Estos enlaces deben hacerse de forma autónoma y con mínima influencia humana.

El servidor Web, debe tener un entorno amigable para el usuario y debe entregar todas las herramientas necesarias para hacer las configuraciones iniciales del equipo, como así también las modificaciones que vayan surgiendo por la necesidad misma del consumidor. También, debe generarse un enlace directo con el modulo principal, para lograr los cambios requeridos y para tener un control sobre los programas automáticos de encendido/apagado. La tasa de refresco de la información, tanto en el módulo principal como en los periféricos, debe ser lo más alta que el Microcontrolador permita, para que los cambios se vean realizados en el menor tiempo posible.

Todos los módulos del sistema, deben lograr funcionar de forma correcta y durable, con un mantenimiento mínimo por parte del usuario. A la vez que, todos los elementos electrónicos y electromecánicos que el sistema utilice, deben ser accesibles y fáciles de encontrar en el mercado argentino, para que el equipo sea de fácil reparación y lo menos costoso posible.

Por último, en lo que se refiere al tamaño físico de cada uno de los módulos, deben ser lo más compacto posible, con la salvedad de que puedan amurarse firmemente a las paredes o techos y tengan el tamaño suficiente como para que, quien vaya a conectarlos, puede trabajar cómodamente.



---

## **Selección de componentes y dispositivos**

En esta sección, se explicarán cuáles fueron los componentes y equipos electrónicos y electromecánicos, que se usaron para cumplir con los objetivos del proyecto.

### Microcontrolador.

El Microcontrolador que se precisó para el desarrollo de este módulo, debía contar con las siguientes especificaciones:

- Velocidad de reloj de al menos 16 MHz, para un procesamiento rápido.
- Contar con pines de interrupción externa.
- Tener la posibilidad de generar múltiples comunicaciones del tipo serial, así sea con puertos físicos o virtuales.
- Poseer al menos un conversor analógico-digital (ADC).
- Contar con algún TIMER para realizar controles temporales por interrupción.
- Tener disponibilidad de entradas y salidas digitales, como así también de entradas analógicas.
- Poseer integrado una memoria no volátil para almacenamiento de datos.
- Tener bajo costo y encontrarse en el mercado local.

Bajo estos requisitos, se seleccionó el Microcontrolador ATMEGA 328p de la serie AVR de 8-Bit de ATMEL. A continuación, se muestran las características básicas de este dispositivo y después se justifica su elección.

1. Segmentos de memoria no volátil de alta duración:
  - a. 32 Kbyte de memoria Flash para programa
  - b. 1 Kbyte de memoria EEPROM
  - c. 2 Kbyte de memoria SRAM
  - d. Gran número de ciclos de lectura/escritura: 10000 flash/100000 EEPROM.
2. Funciones de periféricos:
  - a. Dos Contadores/Timer de 8-Bits con prescaler separado y modo de comparación.
  - b. Un contador/Timer de 16-Bits con prescaler separado, modo de comparación y modo de captura.
  - c. Seis canales PWM.
  - d. Conversor analógico-digital de 10-Bits y 6 canales en su empaquetado en formato DIP.
  - e. Puerto Serial USART programable.
  - f. Fuentes de interrupción internas y externas.
3. 23 entradas/salidas digitales programables.
4. Frecuencia de reloj de hasta 20 MHz con tensión de alimentación de entre 4.5 VDC y 5.5 VDC.

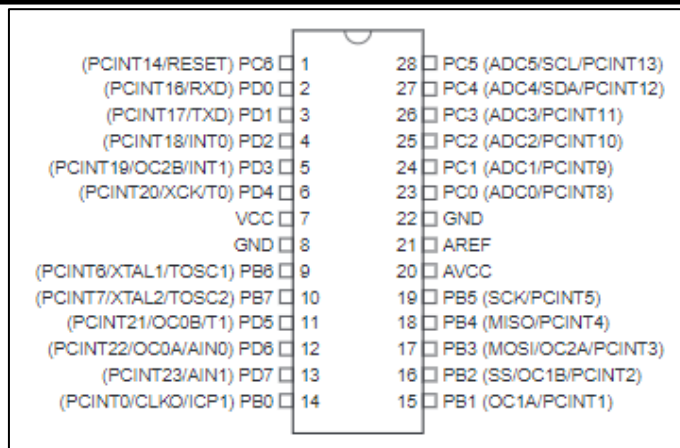


Fig. N° 1.1 ATMEGA 328p en empaquetado de formato DIP [6].

Entonces, se puede decir que el dispositivo elegido cumple con todos los requisitos, y puede desempeñar correctamente todas sus funciones de control y comunicación.

Es importante destacar, que existen muchos Microcontroladores que corresponden con las características nombradas, algunos de ellos, hasta más potentes que el elegido. Sin embargo, la gran ventaja que tiene el ATMEGA 328p es su gran facilidad de programación, lo que agiliza considerablemente esa rama del proyecto y permite el enfoque en otras áreas donde se precisa más tiempo de desarrollo. Además, este micro, tiene un costo bastante bajo y se encuentra fácilmente en el mercado local. Se puede decir entonces, que se cumplimenta con todas las áreas, utilizando un Microcontrolador de uso masivo, que tiene características muy útiles y potentes.

### Conexión WiFi.

El segundo elemento más importante para el proyecto, es el que se encarga de la conexión WiFi. Este, en un principio, debía contar con las siguientes características:

- Bajo consumo de energía.
- Protocolo de comunicación Serial.
- Control bajo comandos simples (con el fin de ahorrar recursos).
- Versatilidad para trabajar como cliente o como servidor Web.
- Bajo costo y buena disponibilidad en el mercado local.

Existen muchos circuitos integrados que cumplen con las características antes mencionadas; algunos se presentan por sí solos en chips individuales y otros se encuentran en placas más complejas funcionando como Microcontroladores.

Los integrados que se encuentran con mayor facilidad, son los de la empresa Espressif y especialmente los que cuentan con el chip ESP8266EX. Para este proyecto, se elige el módulo ESP-01 que contiene al chip antes mencionado, al tiempo que conserva un formato muy compacto y poco costoso.



La principal desventaja que trae el uso de este módulo, es el desaprovechamiento de muchas de las funciones del ESP8266EX, como son la comunicación SPI o la I2C, además de no tener acceso a muchos de las entradas y salidas digitales que el CI (abreviación de “circuito integrado”) ofrece. A pesar de esto, las opciones que brinda el ESP-01 son suficientes para el desarrollo completo del sistema. Estas características se destacan a continuación:

1. Soporte para protocolos: 802.11 b/g/n.
2. Microcontrolador integrado de 32-bit de bajo consumo (ESP8266EX).
3. Componentes integrados para el funcionamiento del sistema WiFi.
4. Soporta los modos de operación STA/AP/STA+AP.
5. Soporta el modo de conexión inteligente para Android e iOS.
6. +20 dBm en 802.11 b.
7. Contiene módulo UART.

De modo que cumple con las especificaciones antes mencionadas y agrega una función muy útil para el desarrollo del proyecto, que es el “modo de conexión inteligente”. Con este modo, el usuario puede conectar el ESP a la red WiFi de su hogar, utilizando directamente su Smartphone o cualquier dispositivo con Android o iOS. En la siguiente Figura, se muestra una imagen del ESP-01, donde el chip de la derecha es el ESP8266EX.

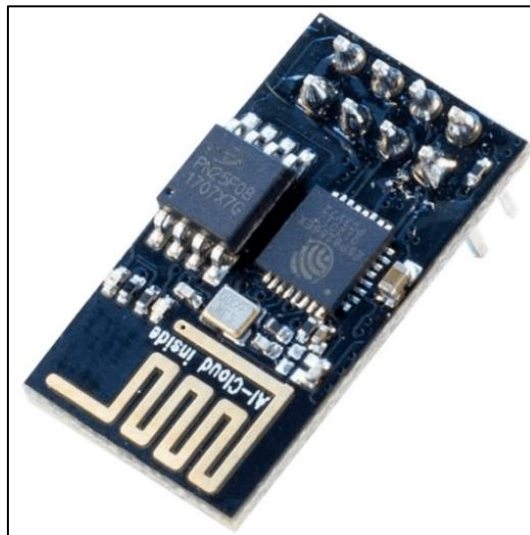


Fig. N° 1.2 Módulo WiFi ESP-01.

Como el dispositivo puede trabajar tanto en modo AP (Access Point, en inglés), como en modo STA (STation, en inglés), puede servir para conectarse a una red inalámbrica, o para generar una. Esto permitió su uso tanto para comunicarse con el servidor Web, como para generar uno propio y establecer comunicación con los módulos de interruptores.

Además del bajo consumo del chip, se debe tener en cuenta la corriente que necesita el modulo en general para tener un buen desempeño. En la **Tabla 1**, se muestra

el consumo del ESP-01, a razón de las características de trabajo utilizadas.

Parameters	Min	Typical	Max	Unit
Tx802.11b, CCK 11Mbps, P OUT = +17dBm		170		mA
Tx 802.11g, OFDM 54Mbps, P OUT = +15dBm		140		mA
Tx 802.11n, MCS7, P OUT = +13dBm		120		mA
Rx 802.11b, 1024 bytes packet length, -80dBm		50		mA
Rx 802.11g, 1024 bytes packet length, -70dBm		56		mA
Rx 802.11n, 1024 bytes packet length, -65dBm		56		mA
Modem-Sleep <sup>①</sup>		15		mA
Light-Sleep <sup>②</sup>		0.9		mA
Deep-Sleep <sup>③</sup>		10		uA
Power Off		0.5		uA

**Tabla 1:** Uso medio de corriente por parte del ESP-01 [5].

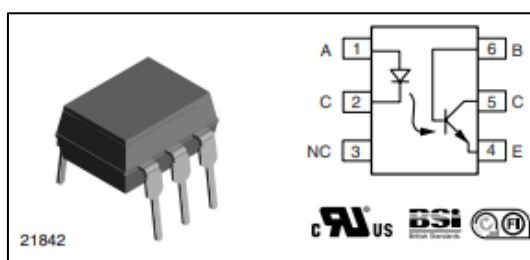
### Optoacoplador.

Siguiendo el orden de importancia, otro elemento muy significativo para el desarrollo del proyecto, es el OPTOACOPLADOR. Que sirve tanto para el detector de cruce por cero, como para el medidor de tensión. Este dispositivo, debe cumplir con las siguientes características:

- Alta tensión de aislación.
- Buen factor de transferencia de corriente (CTR en inglés).
- Aceptable linealidad en la transferencia de corriente.
- Bajo costo y disponibilidad en el mercado local.
- Buena velocidad de respuesta.

Para este proyecto, se utilizó el chip 4N25 de VISHAY, porque además de un bajo costo, ofrece todas las características buscadas y, por sobre todas las cosas, mantiene una relativamente buena linealidad en la transferencia de corriente, entre los 0 [mA] y los 10 [mA] de entrada.

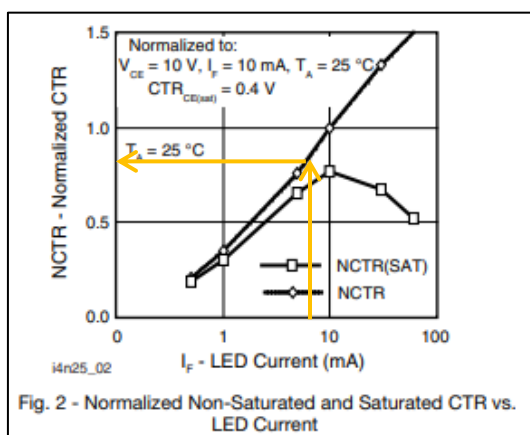
En la siguiente Figura, se muestra un modelo del OPTOACOPLADOR, extraído desde su hoja de datos, y en las posteriores se exponen los gráficos de CTR y de transferencia de corriente.



**Fig. N° 1.3** Esquema 3D y de pines para el CI 4N25.

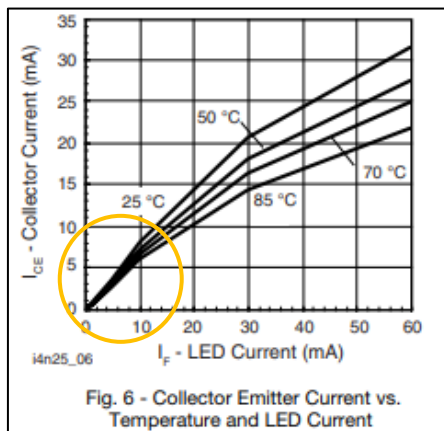
Reproducido de "Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection" por Vishay

*Semiconductors, 2022 (https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciario.*



**Fig. N° 1.4** Curva de variación de CTR para 25 [°C].

*Reproducido de "Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection" por Vishay Semiconductors, 2022 (https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciario.*



**Fig. N° 1.5** Curva de transferencia de corriente.

*Reproducido de "Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection" por Vishay Semiconductors, 2022 (https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciario.*

### Relés electromecánicos

Para el control de los circuitos de potencia media (10 [A]) y alta (20 [A]), se pensó en el uso de relés electromecánicos que puedan trabajar con las corrientes de esos circuitos y que al mismo tiempo, puedan ser accionados con una tensión de entrada de 12 VDC. Además, debían soportar condiciones ambientales desfavorables y tener una alta durabilidad.

Para el circuito de 10 [A], se utilizó el relé SRD-12VDC-SL-C de SONGLE RELAY. Este, puede trabajar con tensiones de hasta 250 VAC y corrientes máximas de 10 [A], al tiempo que mantiene un consumo de potencia muy disminuido (360 [mW]) y soporta hasta 50000 operaciones (duración de 10 años con 13 operaciones por día).



Sumadas a las características antes mencionadas, también puede trabajar en ambientes con vibración, golpes (10G min.) o alta humedad (hasta 85%). El control de estos dispositivos lo realiza el Microcontrolador, con ayuda de un transistor, que modifica la tensión y corriente que llega al bobinado del relé. En la Figura 1.6 se muestra una imagen del componente y en la tabla siguiente, se presentan las características de trabajo, extraídas desde la hoja de datos.



Fig. N° 1.6 Relé electromecánico SRD-12VDC-SL-C.

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance ( $\Omega$ ) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	48	48	7.5	6400	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	03	03	150	20				
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280	abt. 0.51W			
	48	48	10	4500				

Tabla 2: Características técnicas del relé SRD-12VDC-SL-C.

Reproducido de "Songle Relay" por Songle Realy, 2022

(<http://www.datasheet.es/PDF/720554/SRD-12VDC-SL-C-pdf.html>). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciario.

Para el caso de los circuitos de 20 [A], se eligió el relé SLA-12VDC-SL-C también de SONGLE RELAY. Las características en cuanto a las condiciones de trabajo de este dispositivo, respecto del anterior, son similares. La principal diferencia recae en las capacidades máximas, que ahora son de 250 VAC y 30 [A], y en el consumo de potencia, que pasa a ser de 930 mW. En cuanto a la cantidad de operaciones, se puede considerar la misma, dándole una vida útil de 10 años con 13 operaciones diarias. En la Figura siguiente, se muestra una imagen del componente y después, hay una tabla para conocer las características de trabajo del mismo.



Fig. N° 1.7 Relé electromecánico SLA-12VDC-SL-C.

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) □ 10%	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SLA	05	5	185	27	abt. 0.93W	75% Max.	10% Max.	120%Max.
	06	6	150	40				
	09	9	93	97				
	12	12	77	155				
	15	15	59	256				
	18	18	47	380				
	24	24	36	660				
	48	48	20	2480				
	110	110	9	13000				

Tabla 3: Características técnicas del relé SLA-12VDC-SL-C.

Reproducido de "Songle Relay" por Songle Realy, 2022

(<http://www.datasheet.es/PDF/841357/SLA-12VDC-S-L-C-pdf.html>). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciario.

### OPTO-TRIAC

Otro de los componentes activos que debió seleccionarse, es el OPTO-TRIAC que trabaja en los interruptores electrónicos. Principalmente, este dispositivo, tiene la responsabilidad de activar y desactivar al TRIAC, que controla la forma de onda que llega a la carga. Como tiene que manejarse directamente desde el Microcontrolador, debía poder trabajar con tensiones TTL, es decir, con 0-5 VDC. Además, debía tener una alta tensión de aislación, un voltaje de tensión pico mayor que 340 VACpk y una buena velocidad de respuesta.

El elegido fue el integrado MOC3021 de FAIRCHILD, que tiene las siguientes características como las más destacadas:

1. Tensión máxima de trabajo de 400 VACpk.
2. Corriente de encendido mínima de 15 [mA] y máxima de 60 [mA].
3. Voltaje de trabajo del LED de entre 1,15 - 1,5 VDC.
4. Tensión de aislación superior a 7500 VACpk.
5. Velocidad de respuesta con 37 [mA] de entrada, 10 [μs].
6. Corriente normalizada de disparo ( $I_{FT}$ ) de 30 [mA].

Por lo tanto, cumple con las condiciones antes impuestas. En la Figura 1.8 se muestra una imagen del componente, y en la siguiente, se observa el gráfico de corriente vs. Tiempo de pulso.

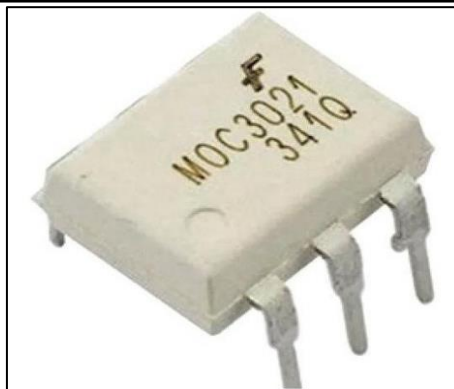


Fig. N° 1.8 Fotografía del CI MOC3021.

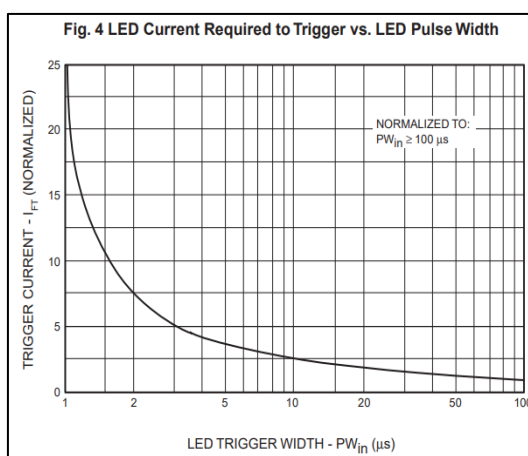


Fig. N° 1.9 Corriente de disparo vs ancho de pulso.

Reproducido de “6-pin dip random-phase optoisolators triac driver output” por Fairchild Semiconductor, 2022 (<https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/53870/FAIRCHILD/MOC3021.html>). Todos los derechos reservados [2003] por Licenciatarario.

## TRIAC

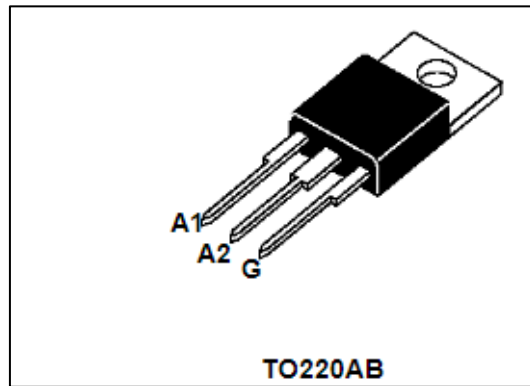
El TRIAC, es el componente encargado de controlar la potencia que puede consumir la carga. Para lograr esto, modifica la forma de onda de tensión que llega hacia ella, permitiendo o no el paso de corriente, en cada medio ciclo de la red. El principal requerimiento que debió cumplir para su elección, fue la corriente RMS máxima de trabajo: como se parte de que el circuito (que debe controlar el interruptor) tiene una corriente máxima de 10 [A], el TRIAC debía soportar al menos 10 [A] RMS. Además, debía poder controlarse con corrientes de disparo relativamente bajas, para un mejor trabajo del OPTO-TRIAC y por último, debía tener la capacidad de trabajar con altas potencias sin deterioro notable del encapsulado.

Por los motivos antes mencionados y manteniendo la constante de buscar componentes de bajo costo y de buena disponibilidad, se seleccionó el TRIAC BTA16 600b de SGS-THOMSON; el cual tiene las siguientes características de trabajo.

1. Corriente RMS máxima de trabajo (ángulo de conducción 360°): 16 [A].

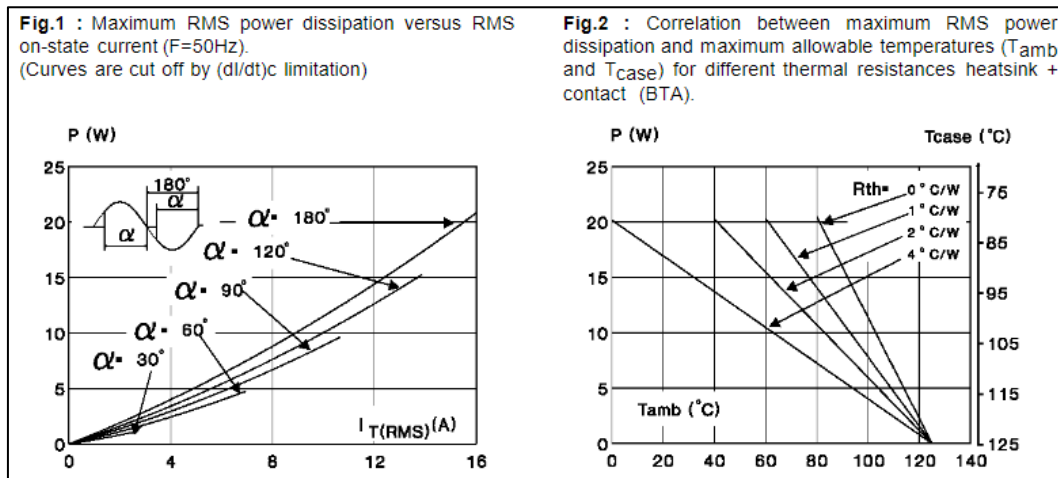
2. Temperatura máxima de la carcasa (16 [A]): 80 [°C].
3. Temperatura máxima de la junta: 125 [°C].
4. Velocidad crítica de aumento de corriente (dI/dt): 10 [A/μs].
5. Voltaje repetitivo pico en apagado: 600 [V].
6. Corriente de compuerta máxima: 100 [mA].

Entonces, se cumplen las características buscadas, y se encuentra una en particular que no se había tenido en cuenta, es la del punto 4. Esta, muestra que para aumentar la corriente que llega a la carga, de 0 a 10 [A], se necesita de un tiempo mínimo de 1 [μs], con una corriente de compuerta relativamente alta y de crecimiento igual de veloz. Este dato es importante, porque si el dispositivo trabaja con un ángulo de conducción de 90°, la corriente será máxima, y superior a 10 [A] para la carga máxima; entonces, el TRIAC tendrá un pequeño retraso en la entrega de la corriente necesaria. En la Figura 1.10, se muestra una representación del componente y en las siguientes, se dejan gráficos extraídos de la hoja de datos.



**Fig. N° 1.10** Gráfico representativo del TRIAC BTA16 600b.

Reproducido de "Standard TRIACS" por SGS-THOMPSON microelectronics, 2022  
 (<https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/22033/STMICROELECTRONICS/BTA16-600B.html>). Todos los derechos reservados [1995] por Licenciatario.



**Fig. N° 1.11** Curvas para la determinación de la potencia posible a disipar.  
 Reproducido de "Standard TRIACS" por SGS-THOMPSON microelectronics, 2022

(<https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/22033/STMICROELECTRONICS/BTA16-600B.html>). Todos los derechos reservados [1995] por Licenciario.

### Fuente conmutada

La fuente de alimentación principal, para ambos módulos, debe tener las siguientes características:

1. Ser una fuente comercial de bajo costo y buena disponibilidad.
2. Mantener una tensión de salida de 12 VDC.
3. Poder trabajar con una corriente de al menos 1 [A].
4. Ser compacta y aislada.
5. Poder trabajar con tensión de entrada de entre 150 VAC y 240 VAC.
6. Mantener una tensión de salida lo más estable y menos ruidosa posible.

Bajo estas especificaciones, se encuentra una fuente conmutada comercial que cumple con todas las características y a la cual se le hicieron pruebas para comprobar su estabilidad. FUENTE Cod: 3871 de la empresa MILENIUM LED, que trabaja con 12 VDC y 1 [A] de salida. En la Figura 1.12 se muestra una foto de la fuente sin su carcasa, que es del modo en que se utiliza para este proyecto.

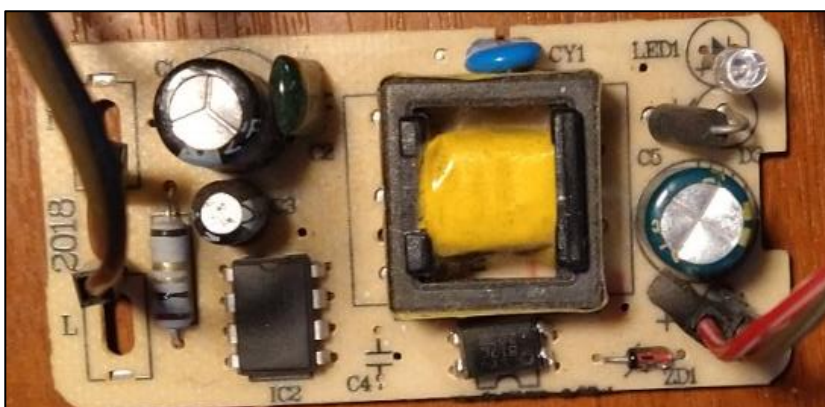


Fig. N° 1.12 Fuente conmutada de 12 [VDC] y 1 [A] de salida.

### Reguladores de tensión

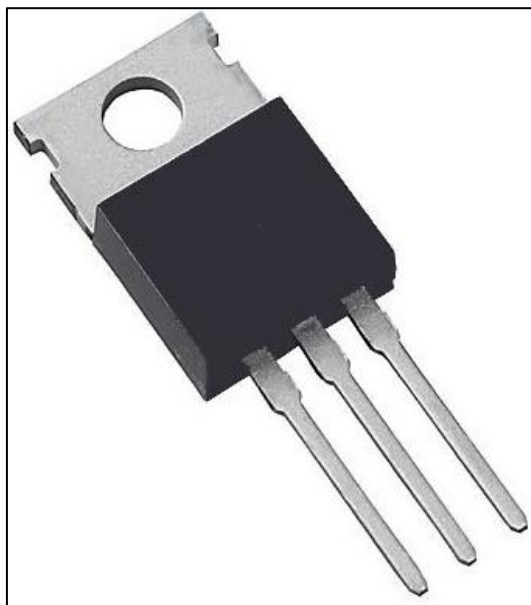
Existen tres tipos de reguladores de tensión para el desarrollo de este sistema en su totalidad, ya que existen tres tensiones de trabajo en uso: 5 VDC, -5 VDC y 3,3 VDC.

Para el caso de 5 VDC, se opta por un regulador que pueda mantener la tensión de salida lo más estable posible, ante las variaciones de consumo que puedan llegar a ocurrir. Además, este integrado, debe ser capaz de soportar las corrientes de las cargas que utilicen 5 VDC, 3,3 VDC y -5 VDC, ya que los demás reguladores se desprenden de este primero. Se elige entonces, el regulador lineal LM7805 de FAIRCHILD ya que posee las siguientes características:

1. Corriente máxima de salida de 1 [A].
2. Protección térmica de sobrecarga.
3. Protección ante cortocircuitos.

4. Temperatura de trabajo de 0 a 125 [°C].
5. Rechazo de ripple a 120 [Hz] de 62 [dB] mínimo.
6. Baja resistencia de salida: 15 [mΩ].

En la Figura a continuación, se muestra una imagen del regular, y en la posterior, una tabla de características extraída de la hoja de datos del mismo.



**Fig. N° 1.13** Fotografía del CI LM7805.

<b>Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)</b>							
(Refer to test circuit, 0°C < T <sub>J</sub> < 125°C, I <sub>O</sub> = 500mA, V <sub>I</sub> = 10V, C <sub>I</sub> = 0.33μF, C <sub>O</sub> = 0.1μF, unless otherwise specified)							
Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V <sub>O</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	4.8	5.0	5.2	V	
		5.0mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.0A, P <sub>O</sub> ≤ 15W V <sub>I</sub> = 7V to 20V	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	T <sub>J</sub> = +25 °C	V <sub>O</sub> = 7V to 25V	-	4.0	100	mV
			V <sub>I</sub> = 8V to 12V	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	T <sub>J</sub> = +25 °C	I <sub>O</sub> = 5.0mA to 1.5A	-	9	100	mV
			I <sub>O</sub> = 250mA to 750mA	-	4	50	
Quiescent Current	I <sub>Q</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI <sub>Q</sub>	I <sub>O</sub> = 5mA to 1.0A	-	0.03	0.5	mA	
		V <sub>I</sub> = 7V to 25V	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	ΔV <sub>O</sub> /ΔT	I <sub>O</sub> = 5mA	-	-0.8	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V <sub>N</sub>	f = 10Hz to 100KHz, T <sub>A</sub> = +25 °C	-	42	-	μV/V <sub>O</sub>	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz V <sub>O</sub> = 8V to 18V	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V <sub>Drop</sub>	I <sub>O</sub> = 1A, T <sub>J</sub> = +25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	r <sub>O</sub>	f = 1KHz	-	15	-	mΩ	
Short Circuit Current	I <sub>SC</sub>	V <sub>I</sub> = 35V, T <sub>A</sub> = +25 °C	-	230	-	mA	
Peak Current	I <sub>PK</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	-	2.2	-	A	

**Tabla 4:** Características técnicas del regulador LM7805.

Reproducido de "3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator" por Fairchild Semiconductors, 2022 (<https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/82833/FAIRCHILD/LM7805.html>). Todos

*los derechos reservados [2001] por Licenciatario.*

El regulador para 3,3 VDC se buscó con características similares y se encontró el regulador lineal AMS 1117-3.3 de AMS. Este, posee especificaciones equivalentes con el LM7805:

1. Corriente máxima de salida de 1 [A].
2. Protección de sobrecorriente.
3. Temperatura de trabajo de -40 a 125 [°C].
4. Rechazo de ripple a 120 [Hz] de 60 [dB] mínimo.
5. Error de estabilidad de largo plazo asegurada en 1% como máximo.

Este dispositivo alimenta a los ESP-01, que pueden llegar a tener consumos de hasta 170 [mA] (**Tabla 1**), y debe estar listo para poder manejarlos. En la Figura que sigue, se muestra una imagen del integrado, mientras que en la tabla debajo, se podrán observar algunas de las características del mismo.



**Fig. N° 1.14** Fotografía del CI AMS1117-3.3.

Dropout Voltage ( $V_{IN} - V_{OUT}$ )	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85/-3.3/-5.0	$\Delta V_{OUT}, \Delta V_{REF} = 1\%$ , $I_{OUT} = 0.8A$ (Note 4)		1.1	1.3	V
Current Limit	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85/-3.3/-5.0	( $V_{IN} - V_{OUT}$ ) = 1.5V	900	1,100	1,500	mA
Minimum Load Current	AMS1117	( $V_{IN} - V_{OUT}$ ) = 1.5V (Note 5)		5	10	mA
Quiescent Current	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85/-3.3/-5.0	( $V_{IN} - V_{OUT}$ ) = 1.5V		5	11	mA
Ripple Rejection	AMS1117	$f = 120Hz$ , $C_{OUT} = 22\mu F$ Tantalum, $I_{OUT} = 1A$ , ( $V_{IN} - V_{OUT}$ ) = 3V, $C_{ADJ} = 10\mu F$	60	75		dB
	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85	$f = 120Hz$ , $C_{OUT} = 22\mu F$ Tantalum, $I_{OUT} = 1A$ , $V_{IN} = 4.35V$	60	72		dB
	AMS1117-3.3	$f = 120Hz$ , $C_{OUT} = 22\mu F$ Tantalum, $I_{OUT} = 1A$ , $V_{IN} = 4.75V$	60	72		dB
	AMS1117-5.0	$f = 120Hz$ , $C_{OUT} = 22\mu F$ Tantalum, $I_{OUT} = 1A$ , $V_{IN} = 6.5V$	60	68		dB
Thermal Regulation	AMS1117	$T_A = 25^\circ C$ , 30ms pulse		0.008	0.04	%W
Adjust Pin Current	AMS1117	$I_{OUT} = 10mA$ , $1.5V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12V$		55	120	$\mu A$ $\mu A$

**Tabla 5:** Características técnicas del regulador AMS1117-3.3.

Reproducido de "1A low dropout voltage regulator" por Advanced Monolithic Systems, 2022 (<http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciatario.



Por último, queda seleccionar el integrado que se encargue del control de la tensión de -5 VDC. Como el sistema no tiene una fuente de salida partida, no existe de por sí, ninguna tensión menor a la de masa, es decir, el punto mínimo de voltaje existente hasta ese momento, era 0 VDC. Para evitar el agregado de otra fuente, o de generar circuitos complejos con el fin de obtener ese valor de menor potencial, se elige utilizar el convertidor de tensión ICL7660 de RENESAS, que tiene las siguientes especificaciones destacadas:

1. Voltaje de entrada de entre 1,5 a 10,5 VDC.
2. Temperatura de trabajo entre 0 y 70 [°C].
3. Una eficiencia en potencia de al menos 95% con  $I_{out}$  de 10 [mA].
4. Una eficiencia de conversión de tensión de al menos 97%.

En base a estas características y teniendo en cuenta los gráficos que se muestran en la Figura 1.16, se puede decir que a pesar de su bajo costo y sus limitaciones de corriente, el nivel de -5 VDC se mantiene acorde a lo que se necesita. Entonces, es importante considerar el consumo que tendrán las etapas de acondicionamiento del medidor de tensión, para que el integrado no decaiga en su funcionamiento.

En la Figura 1.15, se podrá observar una imagen del integrado. Mientras que en la **Tabla 6** se pueden ver la características técnicas del mismo.



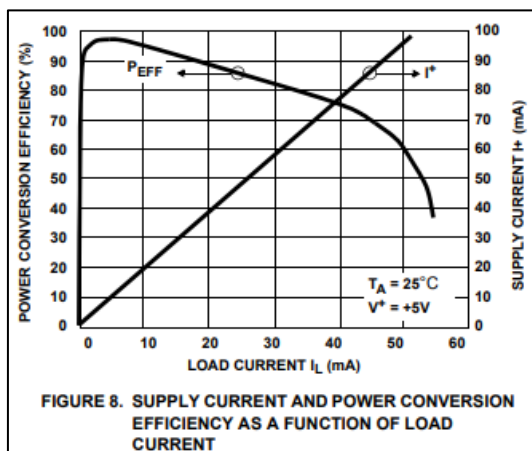
Fig. N° 1.15 Fotografía del CI ICL7660.

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL7660			ICL7660A			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Current	$I^+$	$R_L = \infty$	-	170	500	-	80	165	$\mu$ A
Supply Voltage Range - Lo	$V_{L^+}$	$MIN \leq T_A \leq MAX, R_L = 10k\Omega, LV \text{ to GND}$	1.5	-	3.5	1.5	-	3.5	V
Supply Voltage Range - Hi	$V_{H^+}$	$MIN \leq T_A \leq MAX, R_L = 10k\Omega, LV \text{ to Open}$	3.0	-	10.0	3	-	12	V
Output Source Resistance	$R_{OUT}$	$I_{OUT} = 20mA, T_A = 25^\circ C$	-	55	100	-	60	100	$\Omega$
		$I_{OUT} = 20mA, 0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	-	120	-	-	120	$\Omega$
		$I_{OUT} = 20mA, -55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$	-	-	150	-	-	-	$\Omega$
		$I_{OUT} = 20mA, -40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$	-	-	-	-	-	120	$\Omega$
		$V^+ = 2V, I_{OUT} = 3mA, LV \text{ to GND}$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	-	300	-	-	300	$\Omega$
		$V^+ = 2V, I_{OUT} = 3mA, LV \text{ to GND},$ $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$	-	-	400	-	-	-	$\Omega$
Oscillator Frequency	$f_{OSC}$		-	10	-	-	10	-	kHz
Power Efficiency	$P_{EF}$	$R_L = 5k\Omega$	95	98	-	96	98	-	%
Voltage Conversion Efficiency	$V_{OUT EF}$	$R_L = \infty$	97	99.9	-	99	99.9	-	%
Oscillator Impedance	$Z_{OSC}$	$V^+ = 2V$	-	1.0	-	-	1	-	M $\Omega$
		$V^+ = 5V$	-	100	-	-	-	-	k $\Omega$

Tabla 6: Características técnicas del ICL7660.



Reproducido de "CMOS Voltage Converters" por Renesas, 2022  
(<https://www.renesas.com/us/en/document/dst/icl7660-datasheet>). Todos los derechos reservados [2010] por Licenciatarario.



**Fig. N° 1.16** Curva de eficiencia en conversión vs corriente de salida.

Reproducido de "CMOS Voltage Converters" por Renesas, 2022  
(<https://www.renesas.com/us/en/document/dst/icl7660-datasheet>). Todos los derechos reservados [2010] por Licenciatarario.

En el grafico anterior, se puede determinar la eficiencia de conversión y la corriente de suministro que es necesaria para el correcto funcionamiento del integrado.

### Amplificadores operacionales

Existe una amplia gama de circuitos integrados que ofrecen amplificadores operacionales de toda clase, especificados para muchos usos distintos. Para este proyecto, se necesitaba que el CI contuviera al menos dos operacionales con entradas y salidas separadas, pero que pudieran compartir la alimentación. A su vez, se requería que tenga:

1. Tensión de offset autorregulada.
2. Baja corriente de Bias de entrada.
3. Baja corriente de consumo.
4. Tensión de suministro de  $\pm 5$  VDC.
5. Alta impedancia de entrada.

Bajo estas especificaciones, se encuentra el circuito integrado TL082 de TEXAS INSTRUMENTS. Este, contiene dos amplificadores operacionales JFET de gran ancho de banda. Sus características más relevantes se muestran en la figura siguiente y corresponde con todas las cualidades buscadas.

#### FEATURES

- Internally Trimmed Offset Voltage: 15 mV
- Low Input Bias Current: 50 pA
- Low Input Noise Voltage: 16nV/√Hz
- Low Input Noise Current: 0.01 pA/√Hz
- Wide Gain Bandwidth: 4 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Low Supply Current: 3.6 mA
- High Input Impedance: 10<sup>12</sup>Ω
- Low Total Harmonic Distortion: ≤0.02%

**Fig. N° 1.17** Características del CI TL082.

Reproducido de "TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier" por Texas Instruments, 2022 ([https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl082-n.pdf?ts=1649311530495&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl082-n.pdf?ts=1649311530495&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)). Todos los derechos reservados [2013] por Licenciatario.

Las funciones que más se buscaban en este integrado eran: la corrección automática de la tensión de offset (para evitar circuitos adicionales), la baja corriente de suministro (para evitar cargar al integrado ICL7660) y la alta impedancia de entrada (ya que trabaja para dos etapas y es importante que no haya interferencia entre ellas). A continuación se muestra una imagen del dispositivo.



**Fig. N° 1.18** Fotografía del CI TL082.

#### Resistencia dependiente de la luz (LDR)

Este componente, es parte fundamental del medidor de iluminancia, ya que tiene la posibilidad de variar su resistencia en función de la luz que incide sobre él. Estas resistencias, son de características muy variadas y poseen tolerancias muy grandes, lo que hacen que su selección sea más acotada a las opciones que ofrece el mercado, que respecto a sus funcionalidades. El producto elegido fue el fotoresistor GL5516 de la empresa DIGILENT, que poseía las características más acordes a las requeridas:

- Respuesta rápida a los cambios de lux.
- Compacto.
- Alta sensibilidad.
- Buena fiabilidad, baja dispersión en sus cambios de resistencia.
- Buenas características de espectro, con pico en los 540 [nm], al igual que el ojo humano.

Por lo tanto, ahora que se tiene el fotoresistor, queda el hecho de adaptar el conjunto del medidor, para lograr mejores características. En la Figura siguiente se muestra una imagen del componente y en la posterior, un gráfico respecto de su variación de resistencia. Al final, también se muestra una tabla con características importantes.



Fig. N° 1.19 Fotografía del LDR GL5516.

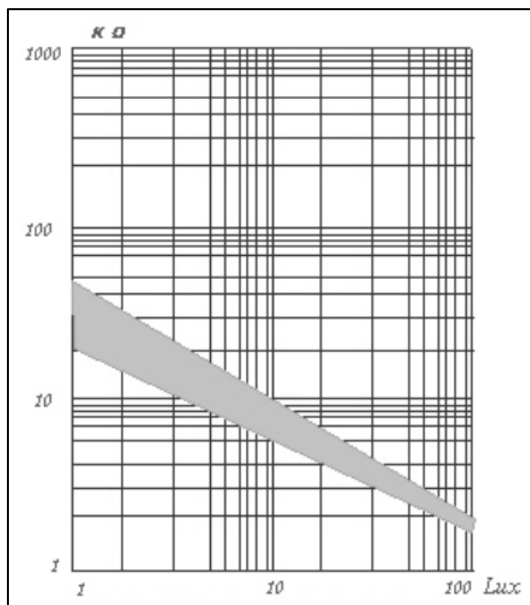


Fig. N° 1.20 Variación de resistencia en función de los lx aplicados.

Reproducido de "GL55 Series Photoresistor" por Diligent, 2022

(<https://www.kth.se/social/files/54ef17dbf27654753f437c56/GL5537.pdf>). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciario.

Specification	Light resistance (10Lux) (KΩ)	Dark resistance (MΩ)	$\gamma_{10}^{100}$	Response time (ms)		Illuminance resistance Fig. No.
				Increase	Decrease	
Φ5 series	5-10	0.5	0.5	30	30	2
	10-20	1	0.6	20	30	3
	20-30	2	0.6	20	30	4
	30-50	3	0.7	20	30	4
	50-100	5	0.8	20	30	5
	100-200	10	0.9	20	30	6

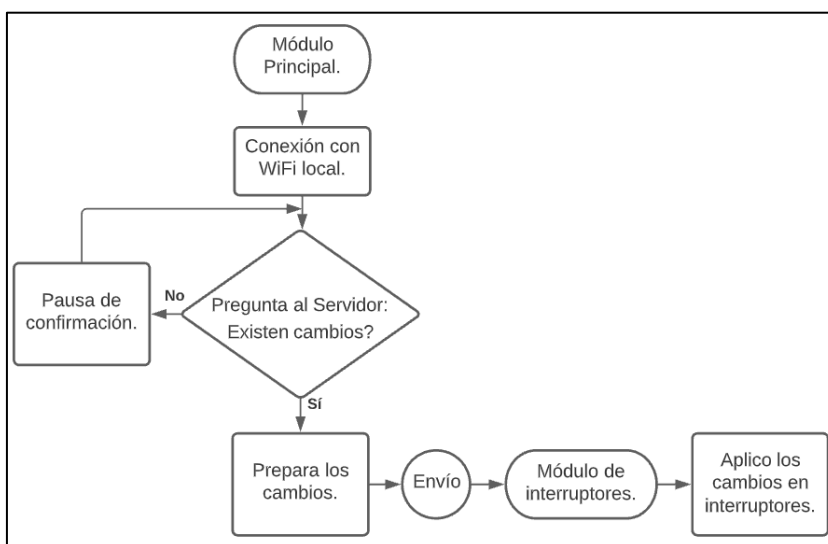
**Tabla 7:** Características técnicas del LDR GL5516.

Reproducido de "GL55 Series Photoresistor" por Diligent, 2022

(<https://www.kth.se/social/files/54ef17dbf27654753f437c56/GL5537.pdf>). Todos los derechos reservados [2022] por Licenciario.

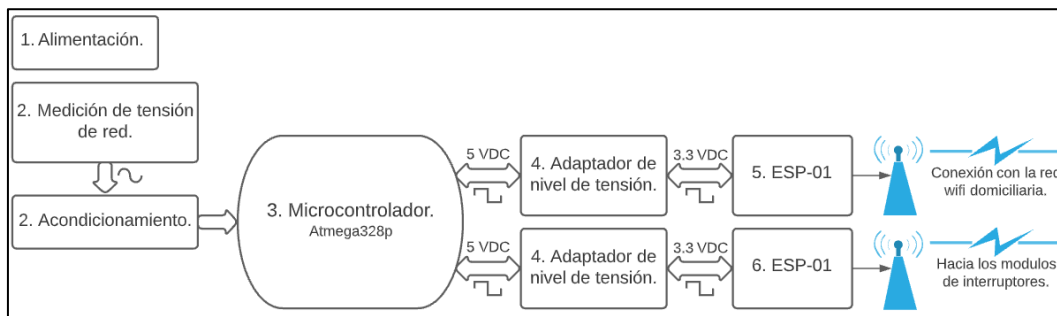
### Diagrama en bloques del dispositivo

El diagrama en bloques general del sistema, se muestra a continuación:



**Fig. N° 2.1** Diagrama general simplificado de comunicación.

El diagrama en bloques del módulo principal es el siguiente:



**Fig. N° 2.2** Diagrama general del Módulo principal.

El diagrama en bloques del módulo de interruptores se conforma de la siguiente manera:

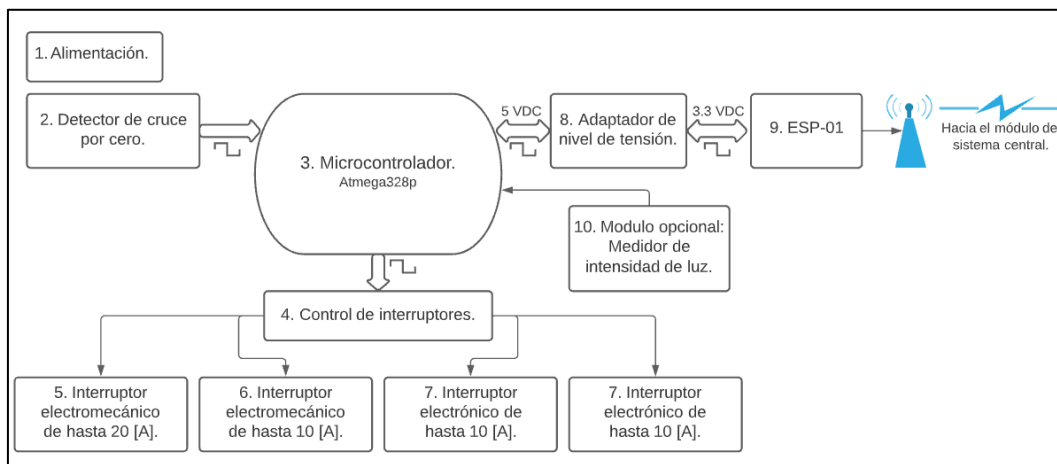


Fig. N° 2.3 Diagrama general del Módulo de interruptores o periférico.

### Descripción de cada una de las partes

Descripción del módulo principal:

#### 1. Alimentación.

Los voltajes que alimentan al sistema se muestran en el siguiente gráfico.

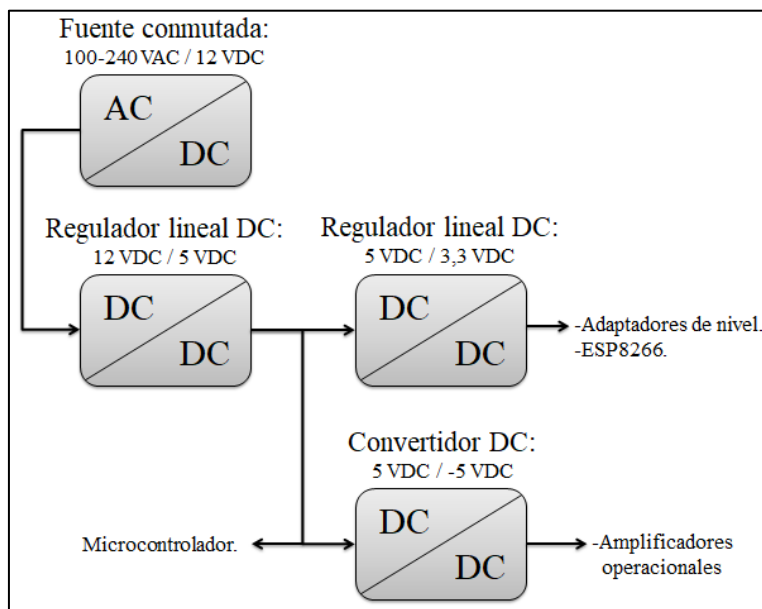


Fig. N° 3.1 Diagrama de alimentación del módulo.

Entonces, desde la fuente conmutada comercial se obtienen 12 VDC que mantiene una salida estable a pesar de las variaciones de la tensión alterna de entrada.

Para reducir la tensión a 5 VDC se utiliza el regulador lineal LM7805, tal y como

se nombró con anterioridad.

Para lograr los 3,3 VDC se usa el regulador lineal AMS1117 3.3, mientras que la tensión de -5 VDC se obtiene del convertidor de voltaje CMOS ICL7660. Este último, alimenta al integrado TL082, que contiene amplificadores operacionales, y no realiza un gran consumo de corriente.

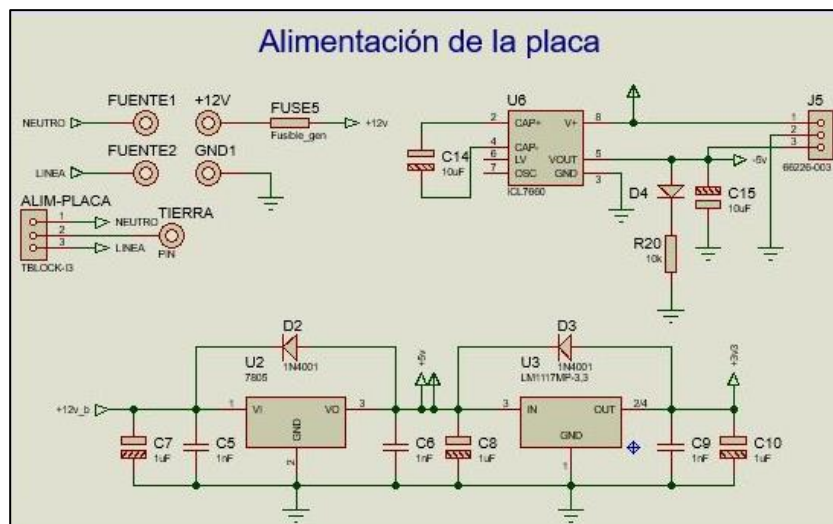


Fig. N° 3.2 Diagrama de circuito, fuente de alimentación.

## 2. Medidor de tensión de red.

Este dispositivo tiene dos bloques de funcionamiento. El primero es el de rectificador-optoacoplador, que se encarga de tomar la señal de tensión de red, rectificarla en onda completa, y luego, al pasar por el optoacoplador, aislarla y atenuarla a niveles de tensión mucho más bajos. En la Figura 3.3 se podrá observar un diagrama de circuito de este bloque, el cual se conforma de:

- Un rectificador de onda completa con el uso de diodos 1N4007.
- Un par de resistencias del lado de red, de 33 [kΩ].
- Un par de resistencias del lado de red, de 100 [kΩ].
- Un optoacoplador 4N25.
- Un par de resistencias del lado de salida del opto, de 100[Ω].

Entonces, la tensión de red genera una corriente a través del LED del optoacoplador, proporcional a su nivel de tensión y en función a la limitación que generen las resistencias de entrada. Estas resistencias, “ven” a sus bornes una señal sinusoidal atenuada, ya que cada medio ciclo de la de entrada se “divide” en partes iguales para cada resistor. De esta forma, la corriente y potencia de cada una es:

$$I_{R_{input1-2}} = \frac{V_{ef} * \frac{1}{2}}{R_{input1}} \quad (Ecu.1)$$

$$I_{R_{input_{1-2}}} = \frac{\frac{1}{2} * (220 [V] * \sqrt{2})}{24,8 [k\Omega]} = 6,272 [mA]$$

$$P_{R_{input_{1-2}}} = V_{ef} * \frac{1}{2} * I_{R_{input_{1-2}}} \quad (Ecu.2)$$

$$P_{R_{input_{1-2}}} = \left( 220 [V] * \frac{\sqrt{2}}{2} \right) * 4,714 [mA] = 0,97 [W]$$

Por lo tanto, en el LED del opto, llega una señal de corriente igual a la que atraviesa por ambas resistencias:

$$I_{LED_{opto}} = I_{R_{input_{1-2}}} \quad (Ecu.3)$$

$$I_{LED_{opto}} = 6,272 [mA]$$

Entonces, si se observan las gráficas de las Figuras 1.4 y 1.5 del optoacoplador, se podrán notar dos cosas:

1. El CTR, Current Transfer Ratio, en inglés o tasa de transferencia de corriente en español, es típicamente del 50% para el 4N25, es decir, si la corriente de entrada es de 10 [mA], la corriente de salida (en el colector del fototransistor) sería de 5[mA].
2. Viendo la curva de la Figura 1.4, con una corriente de 6 [mA] de entrada, el CTRN (N de normalizado) es de aproximadamente 0,75. Si la corriente cambia exponencialmente, el CTR también lo hace, pero de forma lineal. Por lo tanto, es necesario generar un factor de corrección de la medición en base a la variación del CTR. Esto último se describirá más adelante, cuando se demuestre la calibración del medidor.

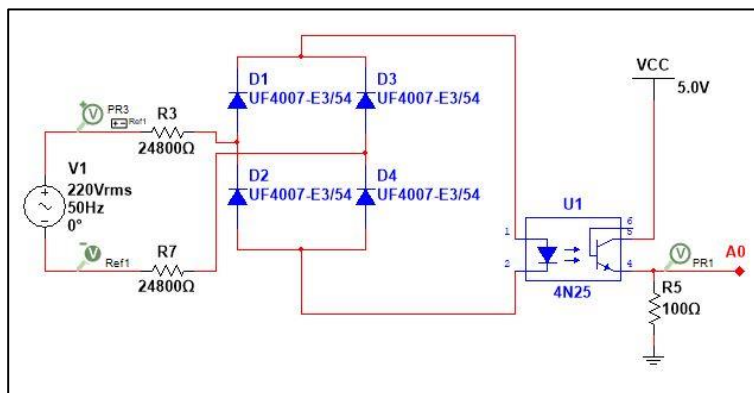


Fig. N° 3.3 Diagrama de circuito, Bloque 1 para el medidor de tensión.

El segundo bloque, es el de amplificación-acondicionamiento, Figura 3.4. En este, se utiliza el integrado TL082 que consta de dos amplificadores operacionales. El primero, funciona como Buffer o amplificador de ganancia unidad, mientras que el segundo, trabaja como filtro pasa bajos activo Sallen Key de segundo orden.

La corriente de colector del fototransistor del optoacoplador, pasa a través de las resistencias de  $100[\Omega]$ , entonces, se puede calcular la caída de tensión en la resistencia del emisor, como:

$$V_{R_{E_{opto}}} = I_{CE_{opto}} * R_{E_{opto}} \quad (Ecu.4)$$

$$V_{R_{E_{opto}}} = I_{LED_{opto}} * CTR_{typ} * CTRN * 100[\Omega]$$

$$V_{R_{E_{opto}}} = 6,272 [mA] * 0,5 * 0,75 * 100[\Omega] = 0,47 [V]$$

Teniendo en cuenta que se está trabajando con una corriente RMS, se puede decir que el valor máximo de señal, que llega al Buffer es de:

$$V_{R_{E_{opto}}_{pico}} = V_{R_{E_{opto}}} * \sqrt{2} \quad (Ecu.5)$$

$$V_{R_{E_{opto}}_{pico}} = 0,47 [V] * \sqrt{2} = 0,66 [V]$$

Este nivel de tensión es algo pequeño para lograr una medición precisa, por esta razón, es importante que el filtro pasa bajos tenga una ganancia mayor a 1. Este filtro, tiene una frecuencia de corte  $f_c = 10 [Hz]$ , esto es, para lograr promediar los medios ciclos de la señal de entrada, que tiene una frecuencia de  $100 [Hz]$ , que devienen de los  $50 [Hz]$  de la red de tensión doméstica. Con este filtro, se pretende eliminar la fundamental y todas las armónicas, para obtener la componente de continua de la señal. Esta componente, tiene un nivel de tensión, en función del voltaje de la red eléctrica domiciliaria.

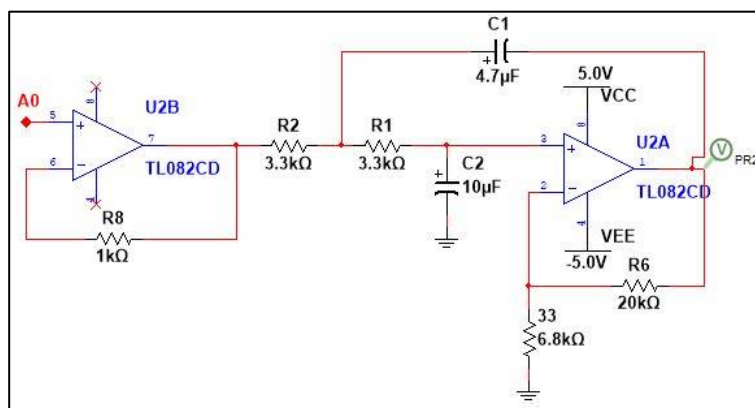


Fig. N° 3.4 Diagrama de circuito, Bloque 2 para el medidor de tensión.

Para comprobar el funcionamiento del medidor, se realiza una simulación transitoria con el software Multisim PPE V14.0.593. Las señales medidas son: tensión de red de entrada ( $V_{(PR3)}$ ), tensión de salida del Bloque 1 ( $V_{(PR1)}$ ) y tensión de salida del Bloque 2 ( $V_{(PR2)}$ ). En la Figura 3.5 se muestran estas señales.



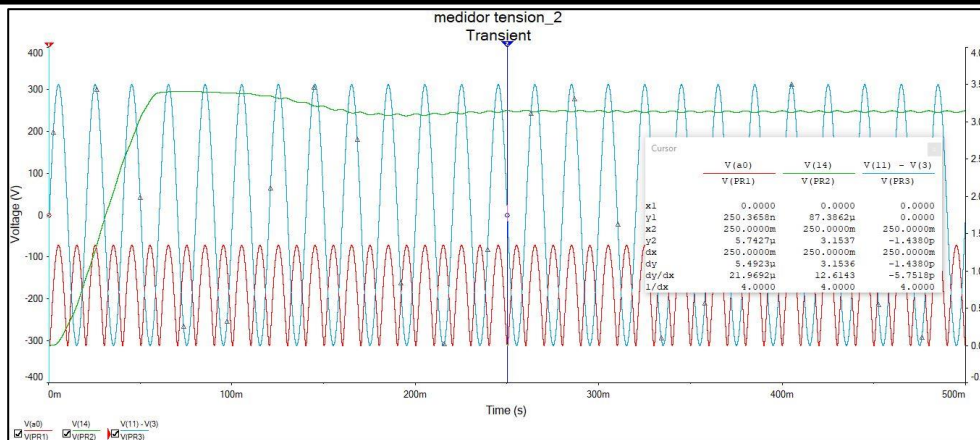


Fig. N° 3.5 Señales de simulación, medidor de tensión.

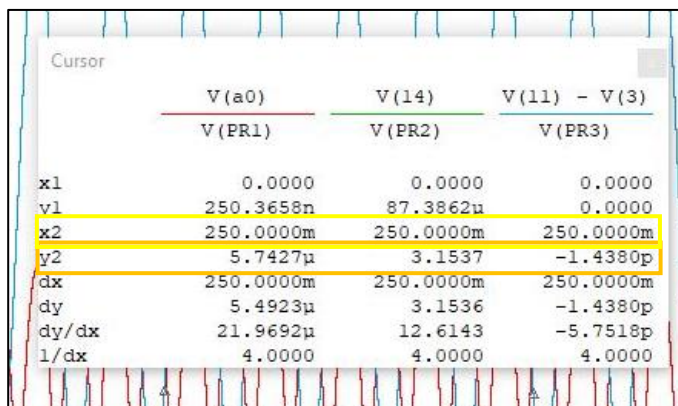


Fig. N° 3.6 Señales de simulación, medidor de tensión -ampliación-.

De aquí se destaca:

- La señal de color rojo, que es la  $V_{(PR1)}$ , debe tener valores mínimos iguales a cero, al mismo tiempo que la señal color azul ( $V_{(PR3)}$ ) tiene sus cruces por cero. Ya que ambas deben estar en fase. Observando la Figura 3.6, el valor de tensión del cursor  $y2$  (recuadro naranja), tanto para la  $V_{(PR1)}$  como para la  $V_{(PR3)}$ , representa menos del 0,001% del valor pico, es decir, es prácticamente cero. Por lo tanto las señales están en fase.
- La curva  $V_{(PR2)}$ , muestra el funcionamiento del filtro pasa bajos. La señal de onda rectificada se va promediando (al tiempo que es amplificada) para que después de unos instantes, se pueda obtener la componente de continua de la  $V_{(PR1)}$ .
- El tiempo que se necesita para lograr una señal estable a la salida del medidor, se toma al final de la sobre-elongación, y es de aproximadamente 250 [ms].
- A la tensión de entrada de 220 VAC, se la convierte en una tensión aproximada de 3,15 VDC, y este es el valor que debe medir el ADC del Microcontrolador.

### 3. Microcontrolador.

En el caso del módulo principal, el micro se encarga de controlar y procesar toda la información proveniente tanto de los ESP-01, como del medidor de tensión. Por lo tanto, tiene que manejar la comunicación Serial con los dos módulos WiFi, ordenando y multiplexando esas informaciones, para generar las palabras de control, que deben enviarse al módulo de interruptores. Además, utilizando su ADC y en los tiempos en que no se realice comunicación, debe tomar la tensión que llega del medidor y convertirla en una palabra binaria de 10 bits. Por último, tiene a su cargo el control de los LED de aviso, y la generación las acciones necesarias para el control de errores.

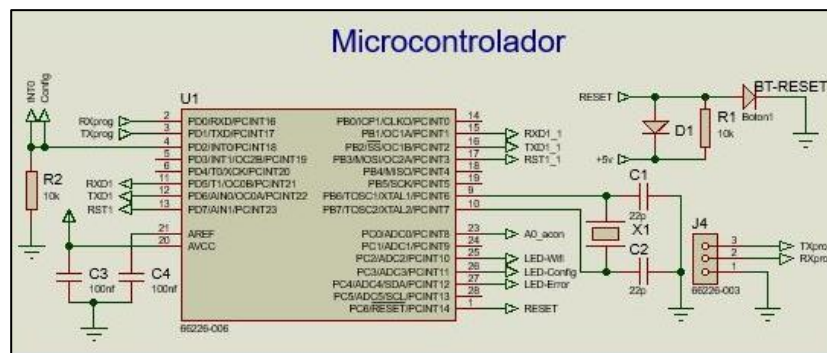


Fig. N° 3.7 Diagrama de circuito, Microcontrolador.

### 4. Adaptador de nivel de tensión.

Como la tensión de funcionamiento del módulo ESP-01 es de 3,3 VDC y el voltaje con el que el Microcontrolador trabaja (con un mejor rendimiento) es de 5 VDC, es necesario realizar una adaptación de estos niveles para evitar que el módulo WiFi sufra un deterioro mayor al habitual.

Para este caso, los niveles de tensión que el micro considera como altos o bajos, se pueden ver a continuación:

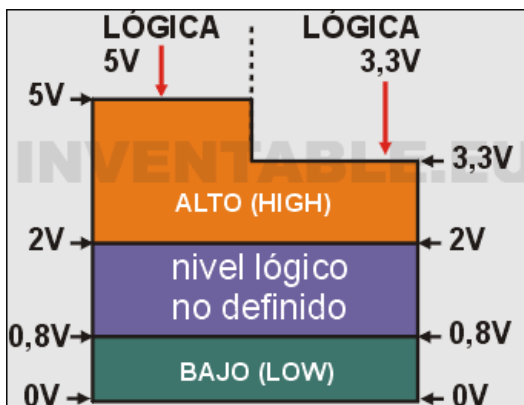


Fig. N° 3.8 Niveles de tensión para la lógica del Microcontrolador-.

De allí se pueden observar, que si ingresan señales con niveles de tensión de 3,3 VDC al ATMEGA 328p, este, va a poder interpretarlas sin ningún problema.

Entonces, se optó por utilizar un adaptador pasivo, que reduzca el nivel de salida desde el micro hacia el ESP-01 pero que mantenga el mismo nivel en sentido inverso. En la Figura 3.9 se observa un pequeño esquema de conexión.

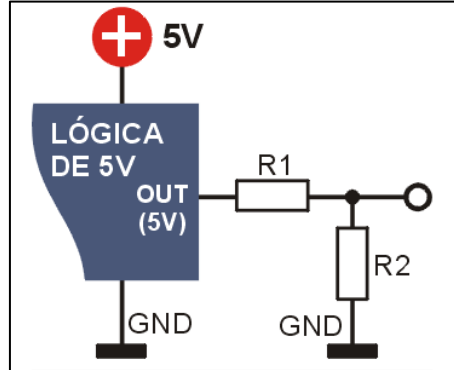


Fig. N° 3.9 Diagrama simple para el adaptador de nivel pasivo.

Para determinar los valores de las resistencias, se debe tener en cuenta que las entradas digitales MOS, necesitan de una pequeña corriente durante las transiciones del estado lógico. Por lo tanto, con una corriente de 1,5 [mA], se puede asegurar esa transición:

$$R_2 = \frac{V_{out}}{I} \quad (Ecu.6)$$

$$R_2 = \frac{3,3 [V]}{1,5 [mA]} = 2,2 [k\Omega]$$

$$R_1 = \frac{V_{in} - V_{out}}{I} \quad (Ecu.7)$$

$$R_1 = \frac{5 [V] - 3,3 [V]}{1,5 [mA]} = 1,13 [k\Omega] \approx 1 [k\Omega]$$

De esta forma ya se encuentra conformado el adaptador de nivel para los dos ESP-01. En la Figura siguiente se muestra su diagrama de circuito final.

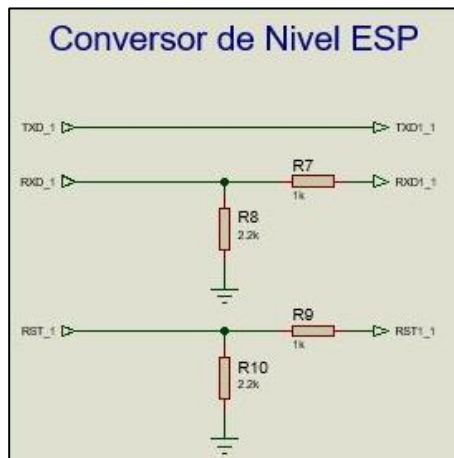


Fig. N° 3.10 Diagrama de circuito, adaptador de nivel.

## 5. ESP-01 (WiFi).

Como ya se sabe, el chip ESP8266EX se encuentra integrado en el módulo nombrado como ESP-01. Se elige este dispositivo, por su reducido tamaño, forma de conexión y por la comunicación por simples comandos AT.

El primer módulo WiFi, se encarga junto con el Microcontrolador, de la comunicación con el servidor Web. Es por esto, que debe estar configurado en modo Estación, tener habilitado la asignación de IP por DHCP y mantener la conexión con el WiFi del hogar. De esta forma, se puede decir que este módulo trabaja solo como un cliente Web, que realiza peticiones y obtiene respuestas desde el servidor.

Sera el micro quien realice las configuraciones iniciales pertinentes sobre el mismo ESP-01.

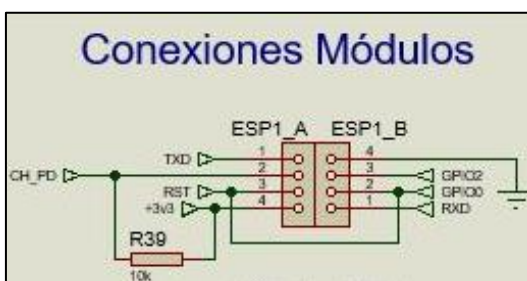


Fig. N° 3.11 Diagrama de circuito, ESP-01 (WiFi) conector.

## 6. ESP-01 (Local 1).

El segundo módulo WiFi, trabaja en modo AP (Access Point, en inglés o punto de acceso, en español) y tiene el trabajo de enviar la información obtenida desde el servidor, hacia los demás módulos de interruptores. Aquí, el dispositivo debe tener una IP fija y generar un servidor en dicha dirección, para que los módulos periféricos puedan obtener información de allí. A su vez, como trabaja en modo AP, genera una red inalámbrica extra, que tiene su nombre y contraseña, a la que solo deberán acceder los módulos de interruptores. Entonces, este ESP-01 trabaja como servidor para los demás módulos del sistema.

Sera el micro quien realice las configuraciones iniciales pertinentes sobre el mismo ESP-01.

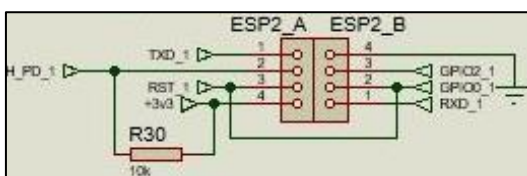
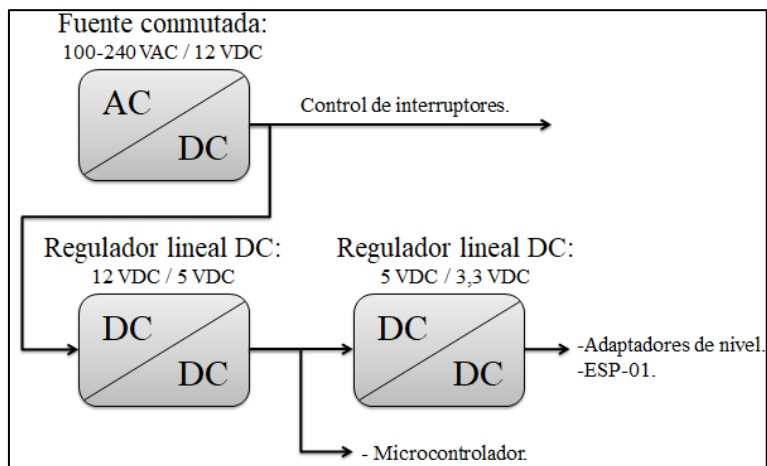


Fig. N° 3.12 Diagrama de circuito, ESP-01 (Local 1) conector.

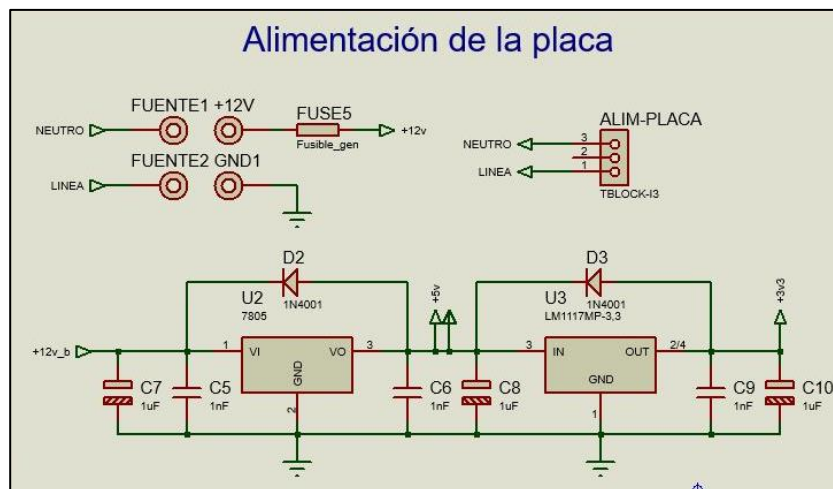
### Descripción del módulo de interruptores:

#### 1. Alimentación.

La fuente de alimentación de este módulo, es exactamente igual que para el principal, con la diferencia de que no es necesario el uso de tensiones negativas, por lo tanto, no se utiliza el integrado ICL7660.



**Fig. N° 3.13** Diagrama de alimentación del módulo.



**Fig. N° 3.14** Diagrama de circuito, fuente de alimentación.

#### 2. Detector de cruce por cero.

El dispositivo que realiza la detección de los cruces por cero de la señal de red, se basa en un circuito aislado, conformado principalmente por un optoacoplador, que envía un pulso de señal ante el valor nulo de tensión de entrada.

Entonces, a la entrada del circuito, se encuentra un rectificador de onda completa, conformado por cuatro diodos y por un par de resistencias que limitan la corriente. Este bloque, alimenta al LED del optoacoplador, mientras que la salida se toma entre el colector y el emisor (a masa). Entonces, mientras circula



corriente por el LED de entrada, también circula por la salida y la tensión entre colector-emisor decae a medida que esa corriente aumenta. Por el contrario, cuando la tensión en el LED es cero (cruce por cero), la corriente es mínima, y la tensión colector-emisor es máxima, ya que no hay caída de voltaje en la resistencia de colector. Luego, esa diferencia de potencial máxima, provoca la activación de la base del segundo transistor y logra que la tensión entre colector-emisor de Q1 sea cercana a cero, ya que como  $R4 \gg R2$ , la mayor caída de tensión se da en R2.

De esta forma, se puede decir que ante cada cruce por cero, la señal que observa el Microcontrolador es un flaco de bajada de  $\approx 5$  VDC a  $\approx 0$  VDC. Cuando la tensión de entrada vuelve a subir, la señal que observa el micro, vuelve al valor de 5 VDC.

En las gráficas de la Figura 3.15, se pueden observar: la tensión de entrada de la red ( $V_{(PR2)}$ ), la tensión colector-emisor del optoacoplador ( $V_{(PR1)}$ ) y la tensión colector-emisor del transistor Q1 ( $V_{(PR3)}$ ). Es importante destacar como se relaciona el cruce por cero de la entrada con la señal  $V_{(PR1)}$ , donde se nota claramente que el aumento de tensión de  $V_{(PR1)}$ , no coincide exactamente con el cruce; esto es por la corriente circulante por el LED: como a la entrada se encuentra un par de resistencias de 100 [k $\Omega$ ] y si se observa el cálculo de corriente de la Ecuación 1, se podrá notar que para tensiones instantáneas de 130 VAC<sub>inst</sub> hacia abajo, el valor de la corriente es muy pequeña:

$$I_{R_{input_{1-2}}} = \frac{V_{ef} \cdot \frac{1}{2}}{R_{input_1}} \quad (Ecu. 8)$$
$$I_{R_{input_{1-2}}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (130 [V] \cdot \sqrt{2})}{100 [k\Omega]} = 919,23 [\mu A]$$

Entonces, a razón del CTR del optoacoplador, la señal que llega a la resistencia R5 es muy baja, provocando que la caída de tensión entre emisor-colector del opto sea de aproximadamente 5 VDC y generando la señal de cruce mucho antes de que el cruce se produzca. Lo mismo ocurre cuando el voltaje de entrada va en aumento, la señal de salida del opto no pasa a ser cero hasta que la tensión de entrada no supere los aproximadamente 130 VAC<sub>inst</sub>.

En consecuencia, siempre habrá un desfase entre el cruce real y la señal generada por el opto. Se podría aumentar la sensibilidad, incrementando el valor de R5, lo que implicaría el aumento de R1 y la pérdida de sensibilidad por parte del transistor Q1.

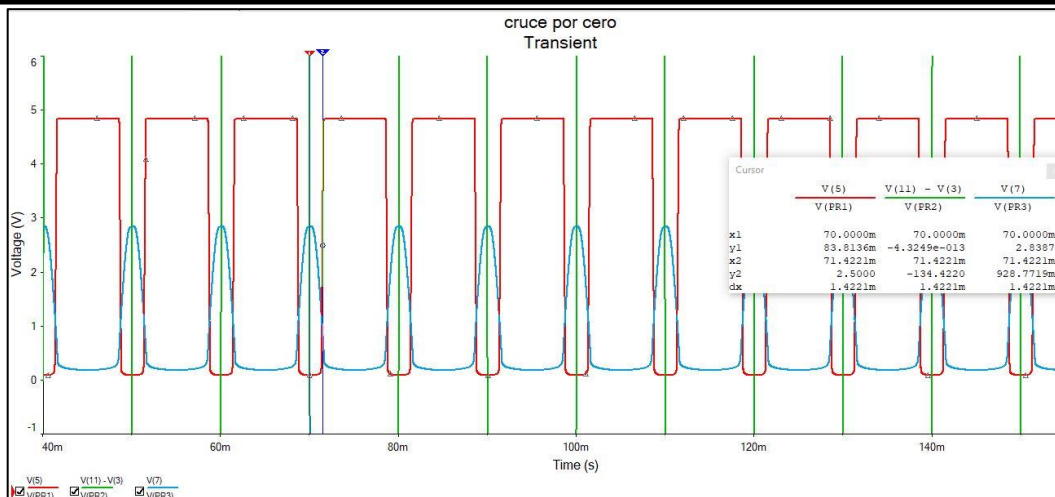


Fig. N° 3.15 Señales de simulación, detector de cruce por cero.

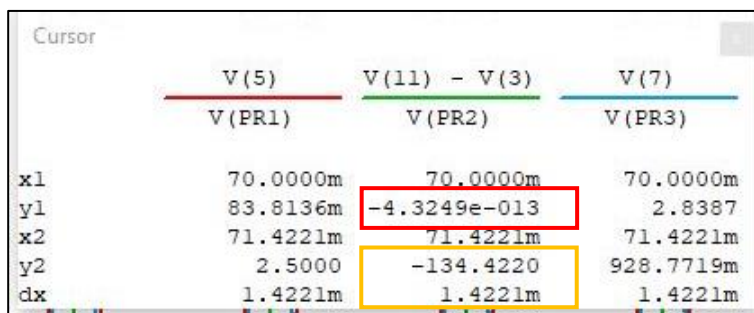


Fig. N° 3.16 Señales de simulación, detector de cruce por cero -ampliación-.

Otro punto destacado que se puede observar en la Figura 3.15, es que las señales  $V_{(PR1)}$  y  $V_{(PR3)}$ , son opuestas entre sí, producto del trabajo que está realizando el transistor Q1. A continuación, se muestra un diagrama circuital del detector.

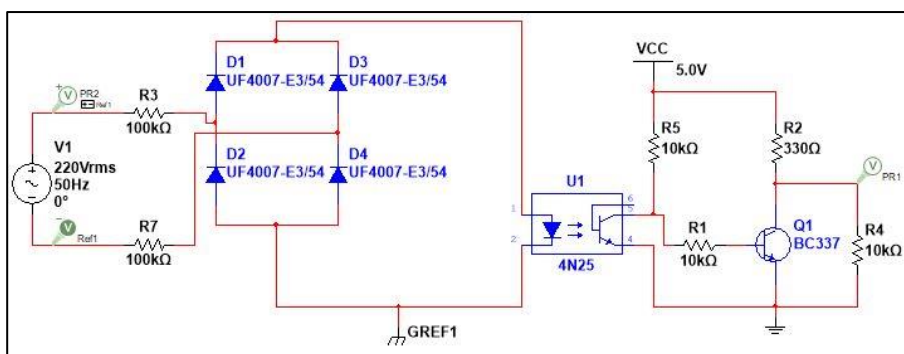


Fig. N° 3.17 Diagrama de circuito, detector de cruce por cero.

Entonces, como se demostró con anterioridad, la señal de cruce con el flanco descendente no es exacta, sino que se “adelanta” a ese suceso. Para la simulación, ese “adelanto” es de 1,41 [ms] y es simétrico respecto del flanco de subida o de bajada, con la diferencia de que con el de bajada se “adelanta” al cruce y con el de subida se “atrás” del mismo.

### 3. Microcontrolador.

Para el módulo de interruptores, este dispositivo, controla y procesa la información que llega a través del ESP-01, el cual mantiene comunicación con el módulo principal. A su vez, tiene a su cargo, el manejo tanto de los interruptores electromecánicos como de los electrónicos, así como su implícita generación de señales de control. Por último, activa o desactiva los LED de aviso, generando las acciones necesarias para la corrección de errores.

Como extra, si se utilizara el módulo de iluminancia, el micro utilizaría su ADC para obtener los valores de medición y lo transformaría en palabras digitales decimales, que luego serían procesadas para la posterior toma de decisiones.

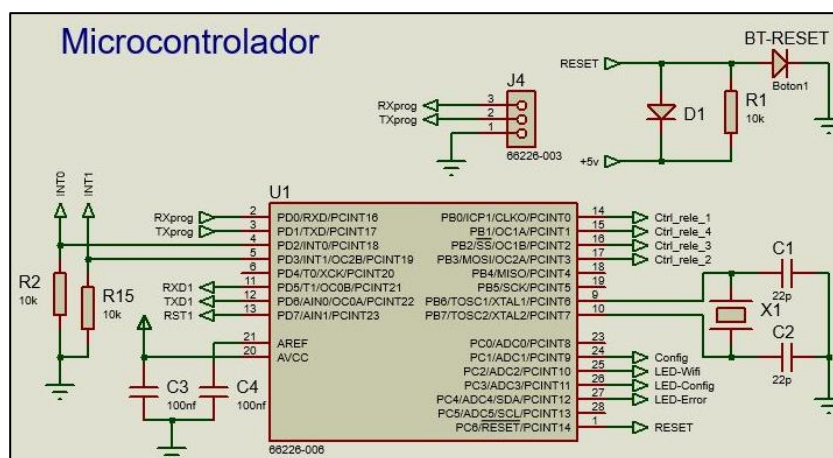


Fig. N° 3.18. Diagrama de circuito, Microcontrolador.

### 4. Control de interruptores.

El control de interruptores se hace para poder manipular los relés electromecánicos con el Microcontrolador. Como ya se dijo, los primeros trabajan con tensiones de 12 VDC, mientras que el micro lo hace con 5 VDC. Por esto, es importante contar con un dispositivo que permita traducir esos niveles de tensión, al tiempo que le brinde la corriente necesaria a las bobinas.

Se utiliza un transistor NPN en modo de funcionamiento corte/saturación, para poder alimentar correctamente a los relés. El circuito utilizado, se muestra en la Figura 3.19 donde también se denota un diodo (diodo de corrida libre), que sirve para evitar los picos de tensión luego de la desconexión del interruptor. Entonces, cuando se activa la salida digital del micro, el transistor permite el paso de corriente a través de la bobina del relé y logra activar al interruptor. En las Figura 3.20 y 3.21, se muestra el comportamiento de encendido y apagado del relé, desde el punto de vista del Microcontrolador.

Para los interruptores electrónicos, el control es distinto y se explica más adelante en este mismo informe, bajo el título “Interruptor electrónico” de la sección **Preparación del prototipo con materiales finales**.



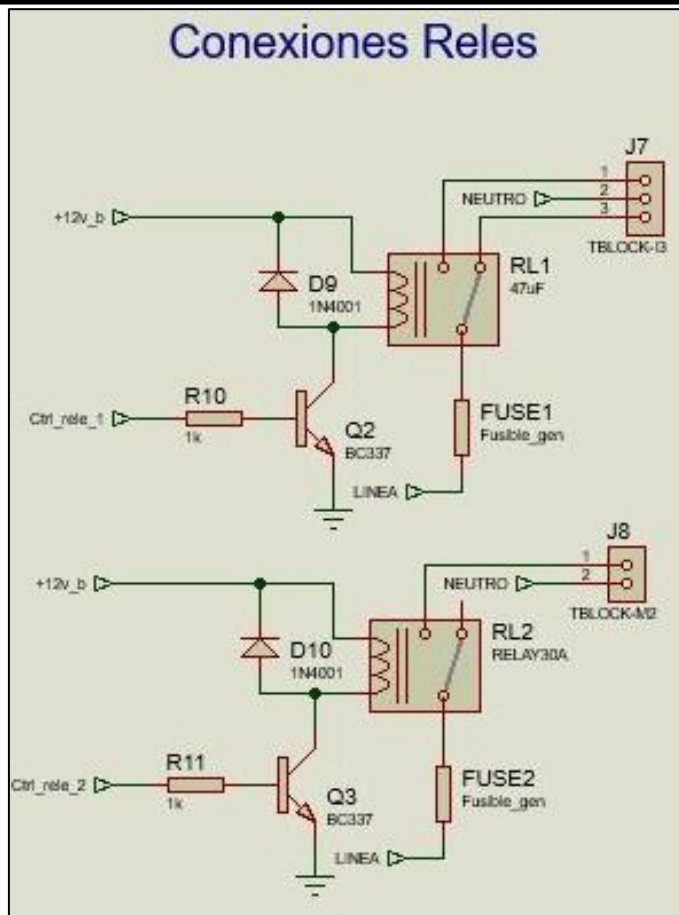


Fig. N° 3.19. Diagrama de circuito, Microcontrolador.

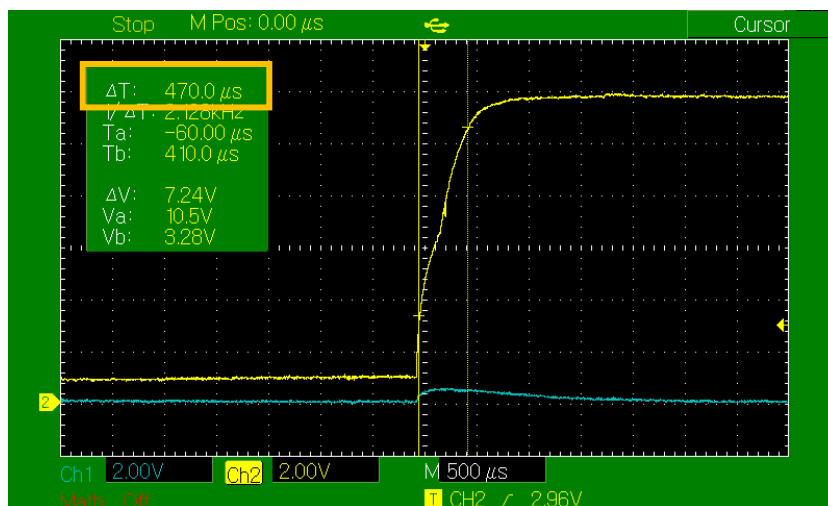


Fig. N° 3.20. Funcionamiento en encendido del interruptor.

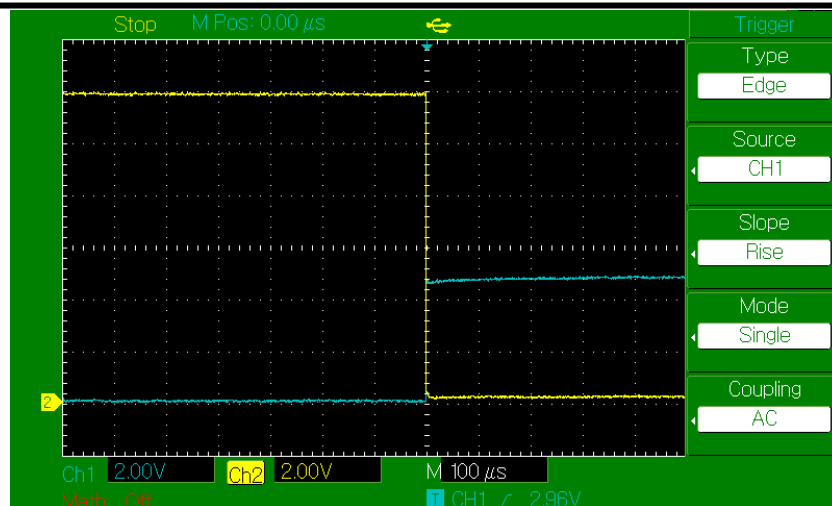


Fig. N° 3.21. Funcionamiento en apagado del interruptor.

5. Interruptor electromecánico de hasta 20 [A]

Esta funcionalidad es puesta en práctica por el relé electromecánico SLA-12VDC-SL-C. Entonces, al tener un único contacto normal abierto, el interruptor cuenta con una entrada común, donde se conecta el NEUTRO del equipo al cual se quiere controlar, y una salida por donde se distribuye la FASE del sistema. De este modo, el usuario puede ver dos bornes de conexión, una para el NEUTRO y otro para la FASE. En la Figura 3.19 se muestra un diagrama de su implementación.

Es importante destacar, que el relé es quien permite la conexión o desconexión del equipo a la FASE de la red y no tiene control sobre el NEUTRO.

6. Interruptor electromecánico de hasta 10 [A].

Para este caso, se utiliza el relé electromecánico SRD-12VDC-SL-C, que tiene dos contactos: uno normal abierto y otro normal cerrado. El interruptor cuenta con una entrada común, donde se conecta el NEUTRO del equipo al cual se quiere controlar, y dos salidas por donde se distribuye la FASE del sistema. De este modo, el usuario puede ver tres bornes de conexión, una para el NEUTRO y otros dos para la FASE; uno funciona cuando el relé permanece “Apagado” (normal cerrado, NC) y el otro cuando esta “encendido” (normal abierto, NA). En la Figura 3.19 se muestra un diagrama de su implementación.

Es importante destacar, que el relé es quien permite la conexión o desconexión del equipo a la FASE de la red y no tiene control sobre el NEUTRO.

7. Interruptor electrónico de hasta 10 [A].

Este tipo de interruptores, tienen como principal función la de controlar la potencia entregada a la carga, modificando la forma de onda de tensión. Su funcionamiento y características se explican más adelante en este mismo informe, bajo el título “Interruptor electrónico” de la sección **Preparación del prototipo con materiales finales**. A continuación se deja un diagrama del

circuito utilizado.

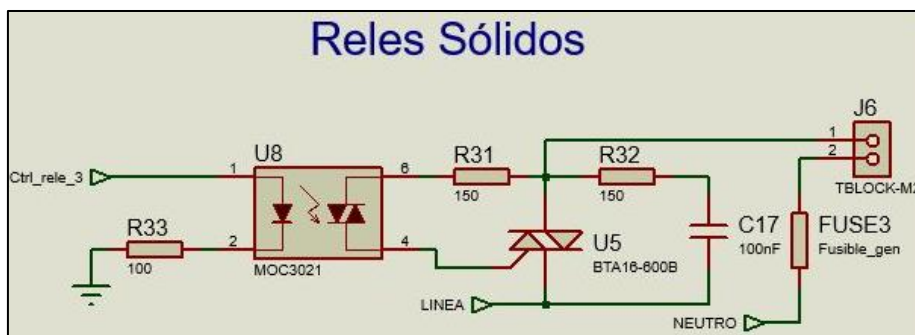


Fig. N° 3.22. Diagrama de circuito, relé electrónico.

8. Adaptador de niveles de tensión.  
Este adaptador, se construye de la misma forma que los adaptadores del módulo principal, de forma que el circuito final se puede ver en la Figura 3.10, página 34.
9. ESP-01 (Local 2).  
Este módulo WiFi, se encarga, junto con el Microcontrolador, de la comunicación con el servidor creado por el módulo principal. Es por esto, que debe estar configurado en modo Estación, tener habilitado la asignación de IP por DHCP y mantener la conexión con el WiFi del ESP-01 (Local 1). La diferencia principal, respecto del trabajo que realiza el ESP-01 (WiFi), es que no realiza peticiones al servidor, entonces, solo se mantiene expectante para recibir las cadenas de configuración que llegan desde el principal.  
  
Sera el micro quien realice las configuraciones iniciales pertinentes sobre el mismo ESP-01.
10. Módulo opcional: Medidor de iluminancia.  
Este medidor se desarrolla, para darle una funcionalidad extra al control de los interruptores electrónicos. Si en estos controladores se conectaran luces (con posibilidad de variación, como las luces incandescentes), se podría medir la iluminancia de la habitación donde se encuentra el módulo de interruptores y en base a este dato, modificar la potencia que se entrega a las luminarias que controla, para mantener un nivel de luz constante durante todo el día. En consecuencia, este medidor, “traduce” el nivel de luz existente, en una señal eléctrica que el ADC del Microcontrolador puede medir.

Se construye en base a una resistencia dependiente de la luz (LDR por su nombre en inglés), un transistor BC337 y una resistencia que convierte la corriente de emisor en tensión. En la Figura 3.23 se muestra un diagrama circuital del medidor.

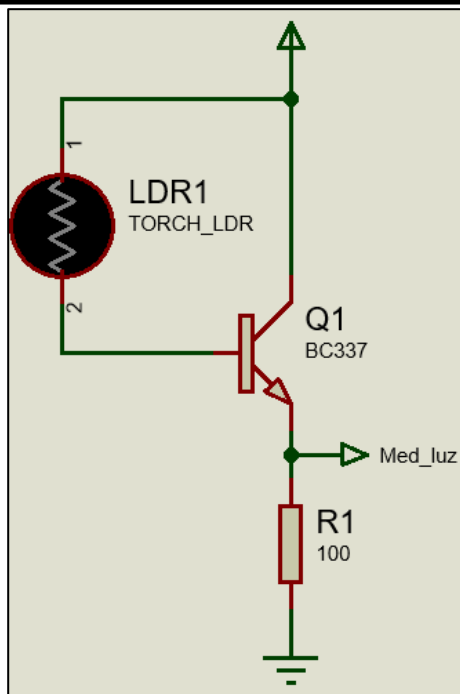


Fig. N° 3.23 Diagrama de circuito, medidor de iluminancia.

### Diagrama de flujo

El sistema en su totalidad, realiza tres procesos distintos, en sus tres componentes principales.

Proceso de trabajo del módulo principal:

Visto en el Anexo III de este mismo informe, bajo el título Diagrama de flujo - Modulo Principal -.

Proceso de trabajo de los módulos periféricos:

Visto en el Anexo III de este mismo informe, bajo el título Diagrama de flujo - Modulo de Interruptores o periféricos -.

Proceso de trabajo del servidor Web:

El servidor, es la cara visible del proyecto y es con quien más tiene contacto el Usuario. Desde su entorno gráfico, se modifican los estados de los distintos interruptores, en función de lo que el Usuario requiera. Una vez que los cambios fueron realizados, el módulo principal toma esos datos y los envía hacia el módulo de interruptores, donde se activan/desactivan salidas.

Por otro lado, en el servidor, se almacenas los datos de Usuario, contraseñas y configuraciones específicas de cada persona. Los programas de encendido/apagado también se guardan aquí, como así también los datos que se obtengan desde el principal.



## Evaluación Final del Sistema

### Preparación del prototipo con materiales finales

Durante la preparación del prototipo se optó por desarrollar placas de prueba, que permitieran simular las conexiones entre los módulos y desarrollar las distintas partes del sistema. Luego, cuando se encontraron las mejores formas de funcionamiento, se desarrollaron placas individuales con todos los componentes integrados, teniendo en cuenta las observaciones que se describen en esta misma sección.

### Módulo de comunicación principal

Lo primero que se hizo, fue construir una placa PCB que tuviera los adaptadores de nivel de tensión y los conectores necesarios para el uso de los ESP-01. En el Anexo I se muestran su esquemático, plantilla PCB y foto real.

Luego, se generó una segunda placa de prueba que contenía: la fuente de alimentación del sistema final, un detector de cruce por cero y parte del medidor de tensión. El esquemático, la plantilla PCB y una foto de su construcción final, se muestran en el Anexo I.

Con estas placas construidas, se realiza todo el conexionado del módulo principal, en una protoboard (Figura 5.1), para comenzar con las pruebas del sistema.

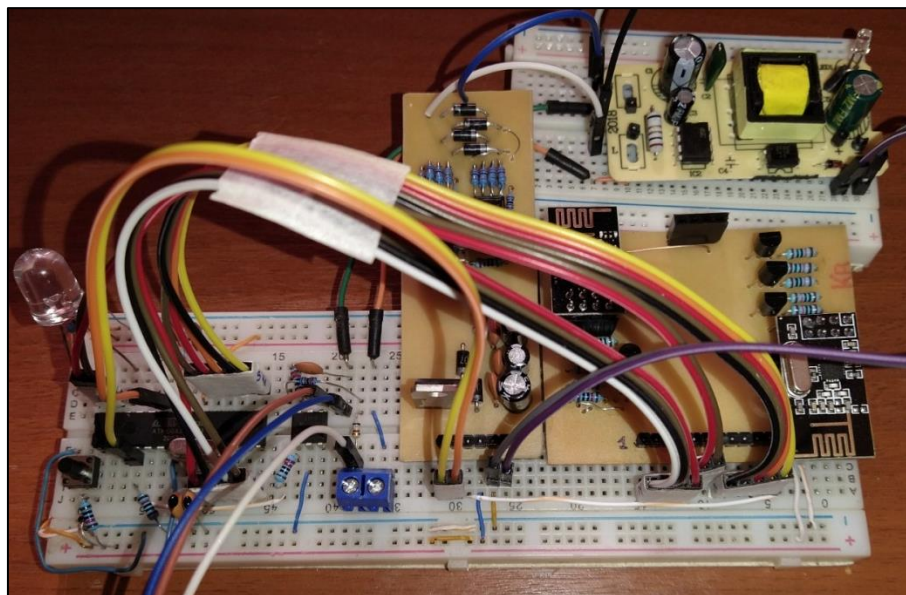


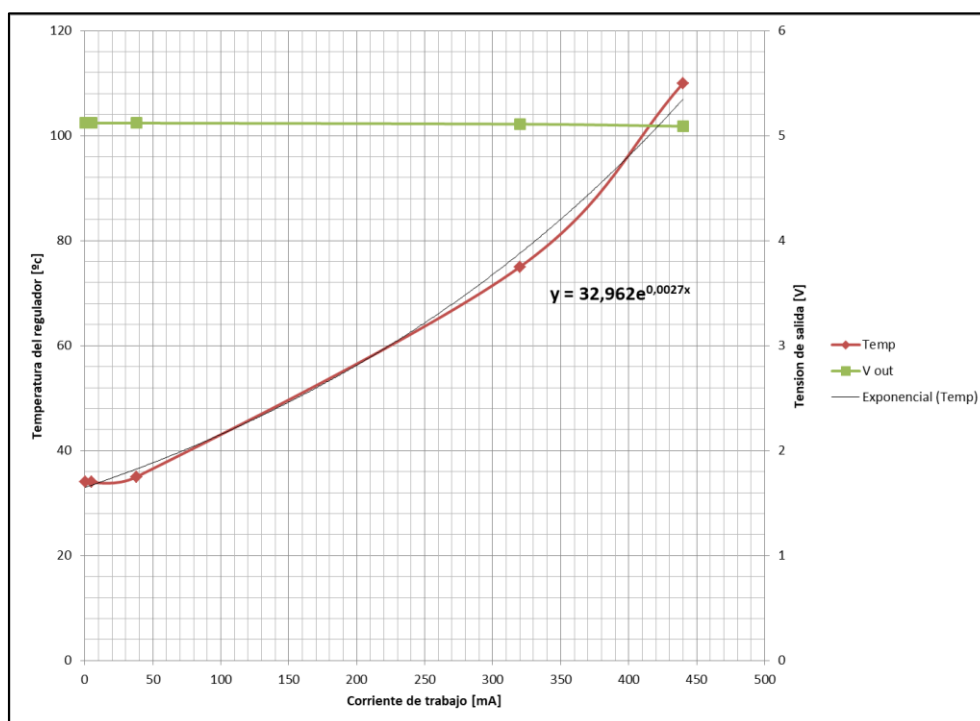
Fig. N° 5.1 Foto de módulo principal ensamblado en protoboard.

1. La fuente de alimentación respondió correctamente a las variaciones de carga que se le impusieron. El circuito de prueba, se puede observar en el Anexo I, bajo el título: Circuito de prueba - Fuente de Alimentación.

Variando la resistencia de carga, se obtuvieron las curvas de tensión y temperatura, para 5VDC y para 3,3VDC, que se ven en las Figuras 5.2 y 5.3. Al



mismo tiempo, con las mediciones de temperatura tanto para el integrado LM7805 (junto con un disipador de calor) como para el AMS1117 3.3, y observado las tablas de características de los reguladores de tensión (**Tabla 4:** LM7805 y **Tabla 5:** AMS1117-3.3), se puede notar que la temperatura máxima de operación para el primero, es de 125 [°C], y para el segundo de 100 [°C]. Con los resultados que se muestran, se llega a la conclusión de que el sistema propuesto como fuente de alimentación, funciona de forma correcta, y que no se necesita de otras mejoras, además del agregado de un disipador en el regulador de 5 VDC.



**Fig. N° 5.2** Curva de respuesta de tensión-temperatura-carga para 5VDC.

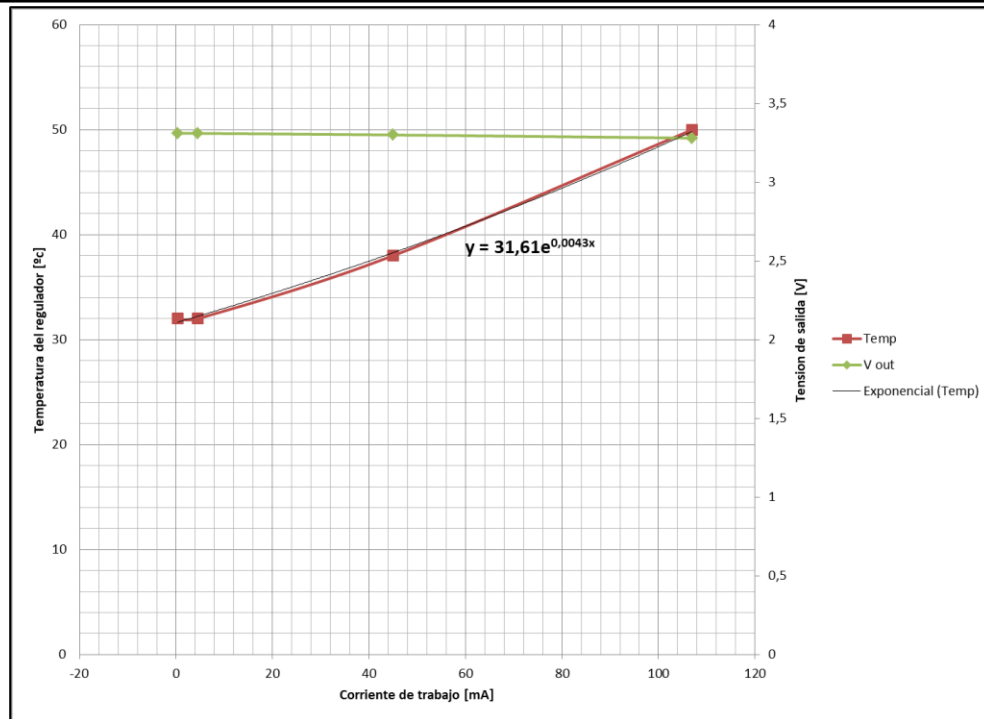


Fig. N° 5.3 Curva de respuesta de tensión-temperatura-carga para 3,3VDC.

2. Las pruebas de comunicación, se realizaron entre el Microcontrolador, a través del ESP-01, y el servidor Web (Figura 5.4).

Observando la imagen de la Figura 5.5 el periodo de tiempo que se requiere para obtener respuesta, después de una solicitud, es de aproximadamente 466 [ms]. La cadena de respuesta del servidor, tal y como se muestra en el diagrama de flujo, es de una longitud constante, por lo tanto, se puede decir que este tiempo medido, será igual para cada petición. Esto, ayuda a organizar temporalmente los trabajos que debe hacer el modulo principal y permite concluir con que el número máximo de peticiones por segundo es dos. Lo que da una tasa de refresco de la información de un medio de segundo o 2 [Hz].

Esta tasa no es tan elevada, pero es a razón de las características del Microcontrolador y de una de sus funciones más provechosas: que es la de generar puertos Serie virtuales, en base a pines digitales e interrupciones de Timer. La principal ventaja, nace de la posibilidad de tener más puertos Serie con un chip de costo bajo como es el ATMEGA 328p; la principal desventaja, es el consumo de recursos y que las velocidades de transmisión de datos no pueden superar los 9600 [Baudios] por puerto.

Por otro lado, el hecho de que solo se pueda usar un único puerto virtual por vez, no representa una dificultad, y se torna una ventaja, al momento de elegir con que ESP-01 se está comunicando el micro.

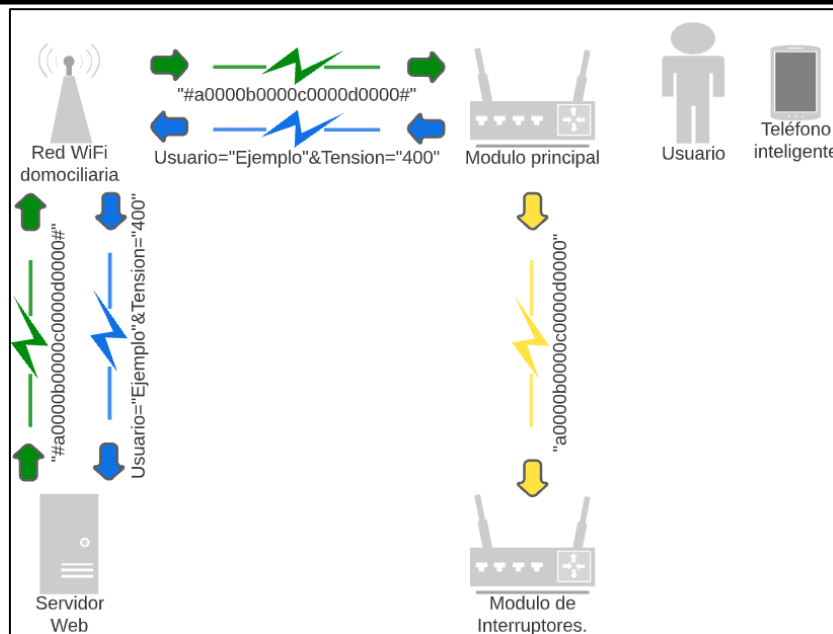


Fig. N° 5.4 Diagrama de comunicación con el servidor.

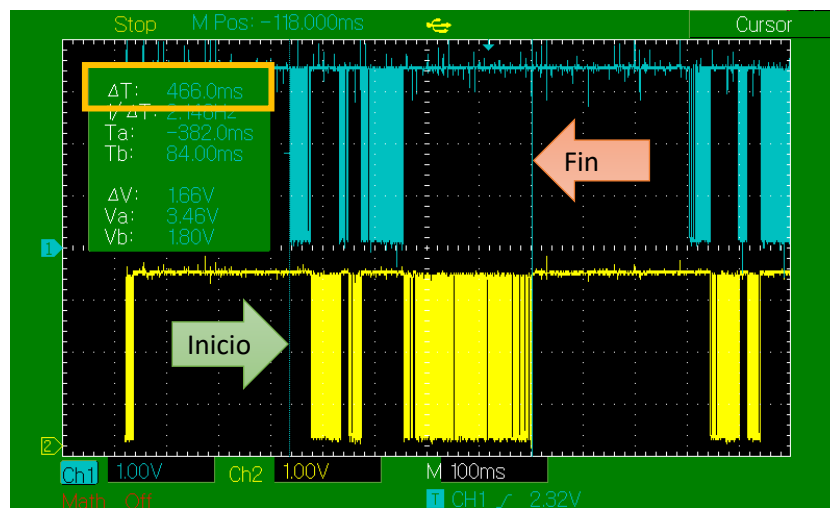


Fig. N° 5.5 Tiempo de respuesta con el servidor.

3. La parte del medidor de tensión que se encuentra en la placa de prueba 2, es el bloque de rectificador-optoacoplador (Figura 3.3, página 33), de aquí se obtiene la señal de tensión de red acondicionada. Esta última, se encuentra rectificadas en puente completo y tiene una variación de tensión que va de aproximadamente los 0 VDC hasta los 1,12 VDC en su pico máximo. En la Figura 5.6 se puede observar esta forma de onda en color amarillo.

Para el segundo bloque del medidor, el de amplificación-acondicionamiento, se puede observar la señal de salida en color azul; se destaca, como la señal comienza en un valor de tensión mínimo, pasando a un valor estable, en aproximadamente 14 o 15 medios ciclos de red.



Comparando la respuesta del circuito real con la del simulado (Figura 3.5, página 35), se puede notar una clara diferencia: la sobre elongación que se observa en la respuesta simulada, es similar a la respuesta real, con la diferencia que el establecimiento de la señal es más veloz; si para la simulación, el tiempo de respuesta es de aproximadamente 250 [ms], para el caso real, ese tiempo es de aproximadamente 150 [ms], lo que acelera considerablemente la medición.

Respecto de la tensión medida, en el caso de la simulación, ese valor para 220 VAC, es de 3,15 VDC (Figura 3.6, página 35), mientras que para el modelo real, la medición es de aproximadamente 2,78 VDC. Esta diferencia, recae principalmente en las características del optoacoplador. En el modelo simulado, no se modifica el CTR y por lo tanto, puede que ese valor sea más cercano a 1 (o hasta mayor); en consecuencia, los niveles de tensión que caen sobre la resistencia del emisor, pueden ser mayores, por tener una corriente circulante más grande. En conclusión, el modelo simulado nos da una idea sobre la forma de onda de salida y sobre los tiempos máximos de trabajo del filtro, pero los resultados finales, se observan en las pruebas reales del circuito, donde el CTR puede variar mucho más.

En esta experiencia, se puede decir que la tensión de salida del medidor tendrá un valor medio de aproximadamente 2,78 VDC y estará a media escala del ADC del Microcontrolador, con referencia en 5 VDC. También, su tiempo de respuesta mínimo para obtener una medición correcta, es de aprox. 150 [ms]. Este tiempo puede parecer grande, pero si se tiene en cuenta que una vez establecida la señal, las variaciones de tensión de entrada no van a ser tan amplias, la velocidad en la medición va a ser mejor.

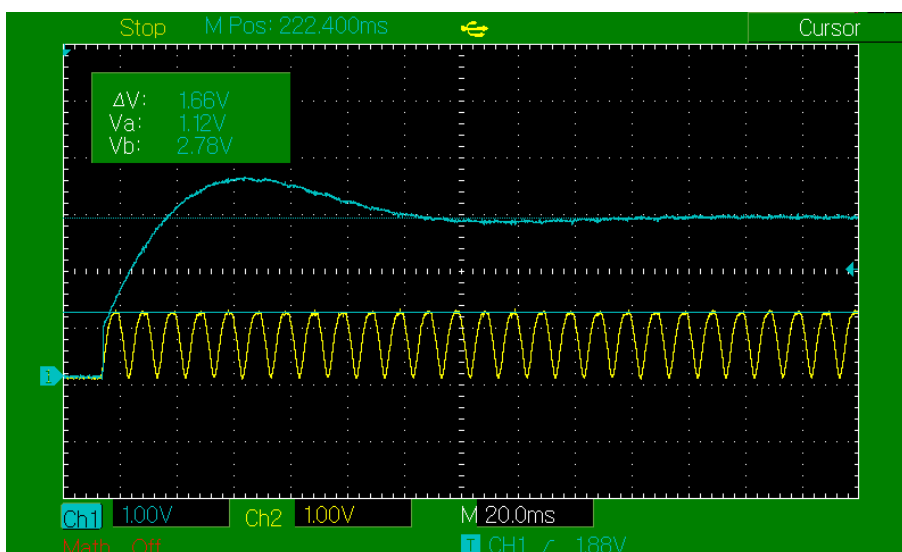


Fig. N° 5.6 Señales reales, medidor de tensión.

- Otra prueba que se realizó sobre el Microcontrolador y está referido al medidor de tensión, fue la velocidad de adquisición de datos por parte del ADC. Para esta prueba, se utilizó un pin digital como testigo, que se encendía cuando la

medición comenzaba y se apagaba cuando finalizaba. Teniendo en cuenta que los retardos para controlar ese pin no se están considerando, el tiempo de medición/conversión es de aproximadamente 109 [μs], tal y como se observa en la Figura 5.7.

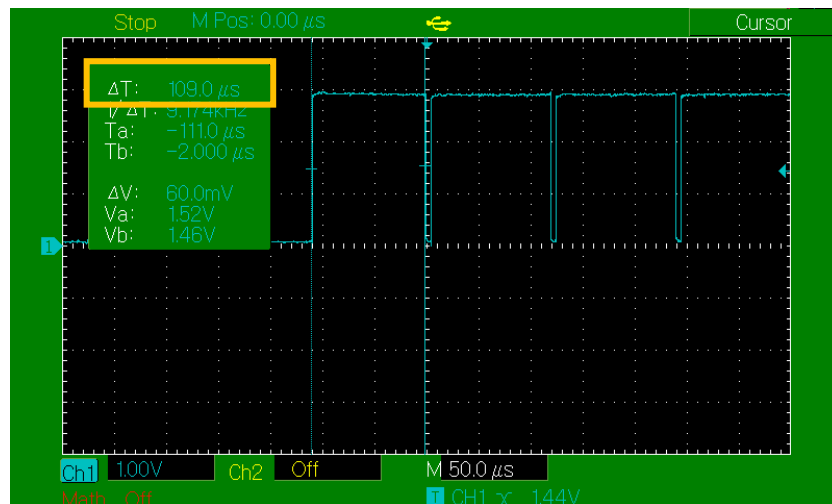


Fig. N° 5.7 Señales del medidor de tensión, toma de muestra con ADC.

- Para el caso del detector de cruce por cero, que también se encuentra en la placa de prueba 2, se puso a prueba el nivel de las señales y el retraso o adelanto con el cruce por cero real.

En la Figura 5.8 y 5.9, se observa la señal de activación del LED del optoacoplador (en color amarillo) y la señal que llega al Microcontrolador (en color azul). En la misma pantalla, se puede observar el atraso/adelanto de la detección de cruce por cero, resultando ser menor a la mostrada por la simulación: aquí se observa un tiempo de 960 [μs]. El nivel de tensión de la señal de detección es acorde a los niveles pretendidos de 0VDC a +5VDC.

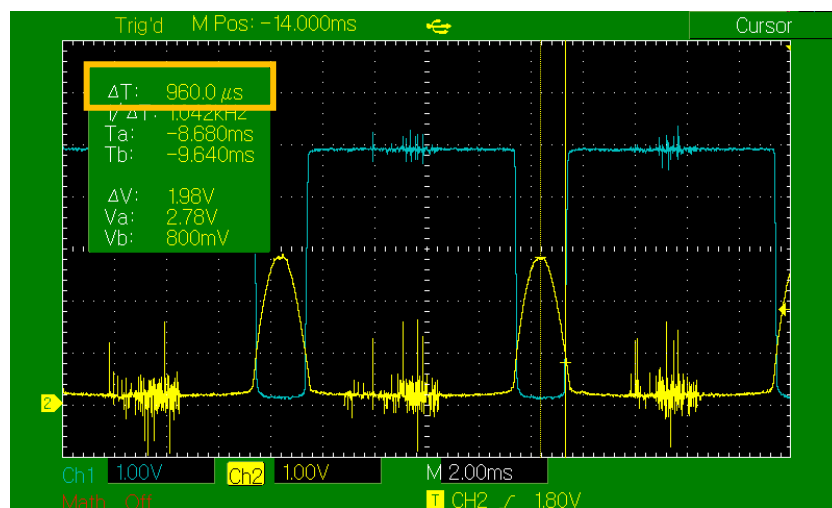


Fig. N° 5.8 Señales reales, detector de cruce por cero - flanco ascendente-.

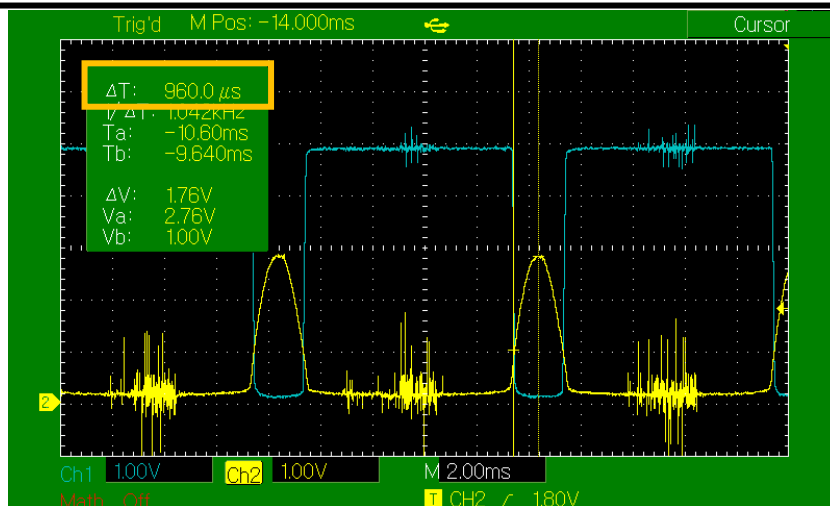


Fig. N° 5.9 Señales reales, detector de cruce por cero - flanco descendente-.

### Interruptor electrónico

Para desarrollar este tipo de interruptor, se partió del circuito típico con el que se usa un TRIAC, donde la activación, se hace con cierto retraso desde el cruce por cero de la onda alterna de entrada. En este tipo de conexiones se modifica el tiempo de encendido, en función de la velocidad de carga de un capacitor. Para esto, se utiliza una resistencia variable, que junto con el capacitor, modifica el tiempo en que un DIAC, envía la señal de cebado al TRIAC.

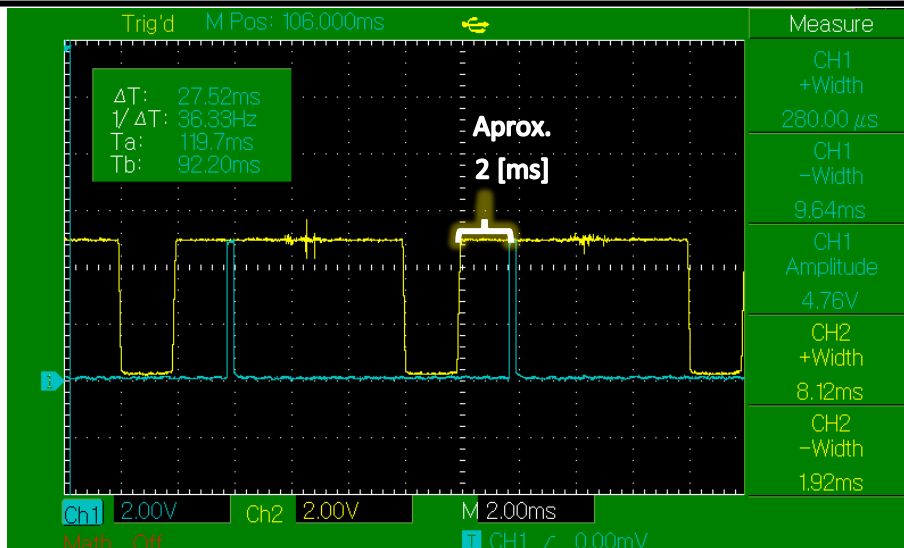
Durante el análisis de este sistema, se desarrolló un tipo de control para el cebado del tiristor:

1. Control del disparo por señal proveniente del Microcontrolador, utilizando un OPTO-TRIAC.

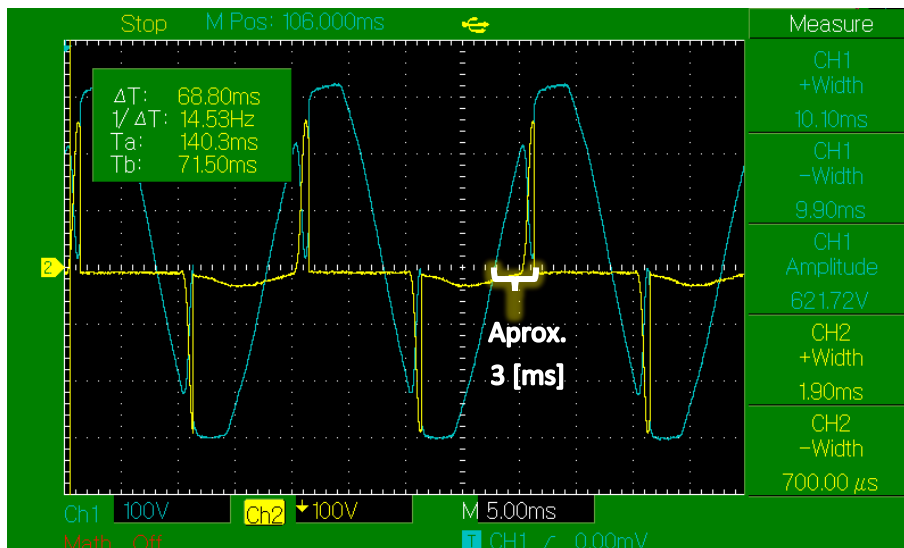
Para este caso, se llegó a la conclusión de que los pulsos para el disparo del OPTO-TRIAC, deben ser de corta duración, para que el integrado trabaje mejor. El circuito de prueba utilizado se muestra en el Anexo I, bajo el título: Circuito de prueba - Interruptor Electrónico.

Los resultados obtenidos se pueden ver en las Figuras 5.10 a 5.13, donde se modifica el retardo del pulso de activación, tomando como referencia la señal del detector de cruce por cero.

Respecto de las Figuras 5.10 y 5.11, la señal de color azul, es la que el Microcontrolador envía al OPTO-TRIAC. De aquí se llegó a la conclusión, después de varias pruebas, que el ancho del pulso enviado debía ser muy pequeño, y es por esto que ese ancho es de 280 [μs]. Esto se logra con interrupciones de Timer. Luego, la señal de color amarillo, representa al detector de cruce por cero y se utiliza el flanco de subida como detector de cruce, desde aquí es donde el pulso azul debe retardarse. Esto se hace mediante interrupción externa y por Timer.



**Fig. N° 5.10** Señales reales, interruptor electrónico -control 1-.



**Fig. N° 5.11** Señales reales, interruptor electrónico -potencia 1-.

Para el par de Figuras anteriores, se puede ver que el retardo aplicado a la señal de control, fue de aproximadamente 2 [ms] desde el cruce. Sin embargo, la respuesta del optoacoplador no se hace notar hasta pasados los primeros 3 [ms] de señal de red, con el agregado de que hay 2 [ms] de señal activa, cuando el opto aún no está encendido y por tanto el TRIAC tampoco debería estarlo.

Estos primeros milisegundos de actividad, son debidos a la naturaleza de la carga con la que se hizo la prueba. Dicha carga, fue un ventilador de baja potencia, pero con una carga inductiva considerable, lo que generaba un desfasaje entre la corriente y la tensión; entonces, por más que el voltaje ya lograba su cruce por cero, la corriente aún permanecía con un valor, y provocaba el no apagado del TRIAC. Como la tensión en esos primeros instantes, no es tan considerable, se pueden permitir estos desajustes en el funcionamiento del relé.

El milisegundo de retardo entre el cruce por cero y la activación del opto, se da porque existe un desfase entre el detector de cruce y la señal real. Este desfase resulta muy difícil de corregir, al tiempo que puede ser muy útil cuando se trabaja con cargas inductivas, como las que se usaron para esta prueba.

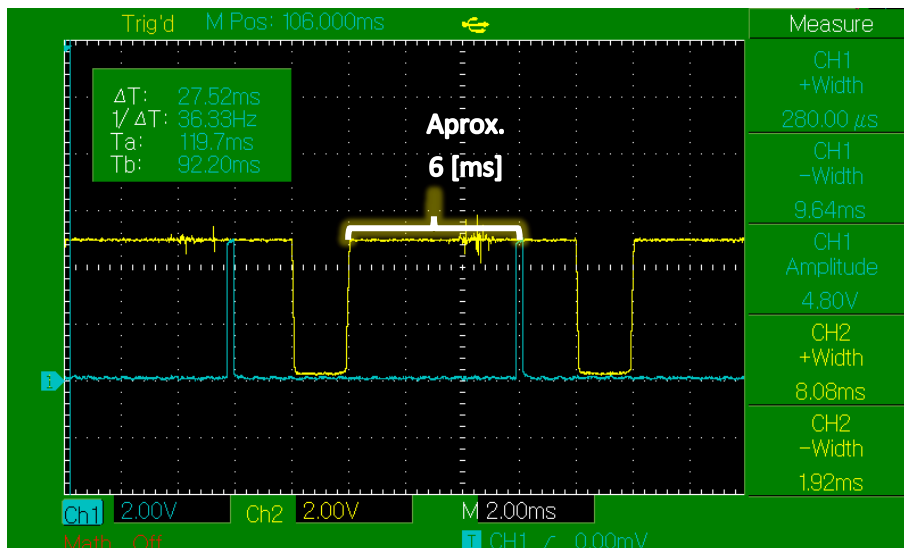


Fig. N° 5.12 Señales reales, interruptor electrónico -control 2-.

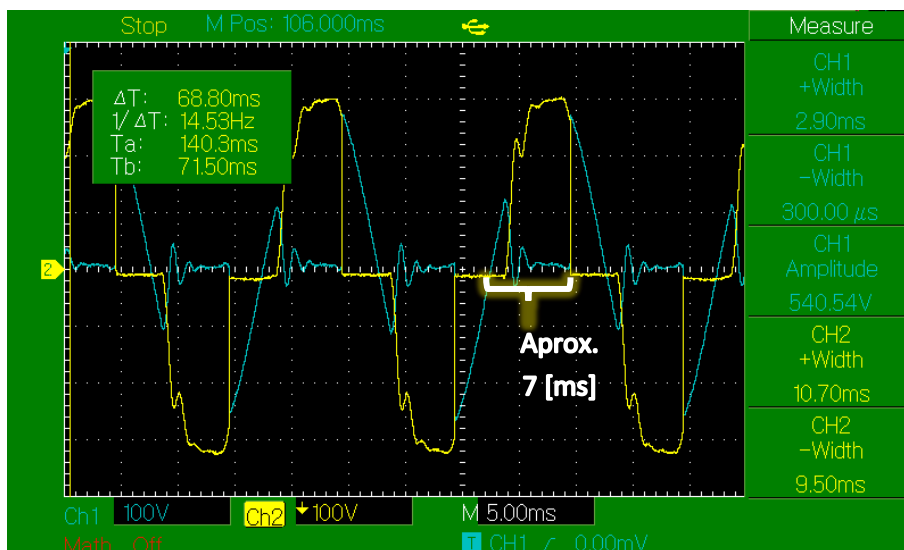


Fig. N° 5.13 Señales reales, interruptor electrónico -potencia 2-.

En el segundo ejemplo que se ve en la Figuras 5.12 y 5.13, se puede notar con más claridad el efecto que tiene la carga inductiva sobre el circuito en sí. En esos primeros 2 [ms] aún existe actividad a razón de la corriente que circula por la carga, en consecuencia, la tensión no decae bruscamente a cero, sino que lo hace de forma subamortiguada (señal de color azul). También se puede ver que el milisegundo de desfase todavía se sigue cumpliendo.

Funcionando con las características antes mencionadas, este sistema de control,



tiene como principal ventaja el manejo totalmente digital de la forma de onda, es decir, el Microcontrolador es totalmente capaz de manipular la activación del TRIAC, lo que hace que la programación sea el único escalón a superar. Sin embargo, la señal de red, muchas veces tiene desfasajes, haciendo que sea difícil generar una señal de control continua e independiente de los cruces por cero de la tensión senoidal de entrada. Entonces, al depender de los pulsos del detector de cruce por cero, el Microcontrolador pierde recursos y se generan interferencias con otras actividades del mismo. Esto, hace que la señal de control del TRIAC se vea interrumpida o modificada y que el control del tiristor no se haga correctamente, provocando un mal funcionamiento del relé electrónico en general.

Para solucionar los inconvenientes antes mencionados, se optó por utilizar el puerto Serial físico del micro, lo que mejora ampliamente la comunicación y performance del módulo en general.

#### Medidor de iluminancia.

El circuito de prueba utilizado se toma del diagrama de la Figura 3.23, agregando un capacitor en paralelo con la resistencia de emisor (R1), con el cual se filtran variaciones y señales indeseadas. Aquí, lo que se mide es el nivel de tensión en RE en función de cuantos lux llegan al LDR.

Durante esta experiencia no se contó con un medidor real de iluminancia, sin embargo, se utilizó una aplicación para dispositivo móvil, que utilizaba el sensor frontal del mismo, para obtener valores de lux aproximados. La gráfica que se observa en la Figura 5.14, muestra la relación que existe entre la tensión medida y el valor de lux aplicados sobre el LDR. La variación de lux, se realizó con una lámpara incandescente de 20 [W].

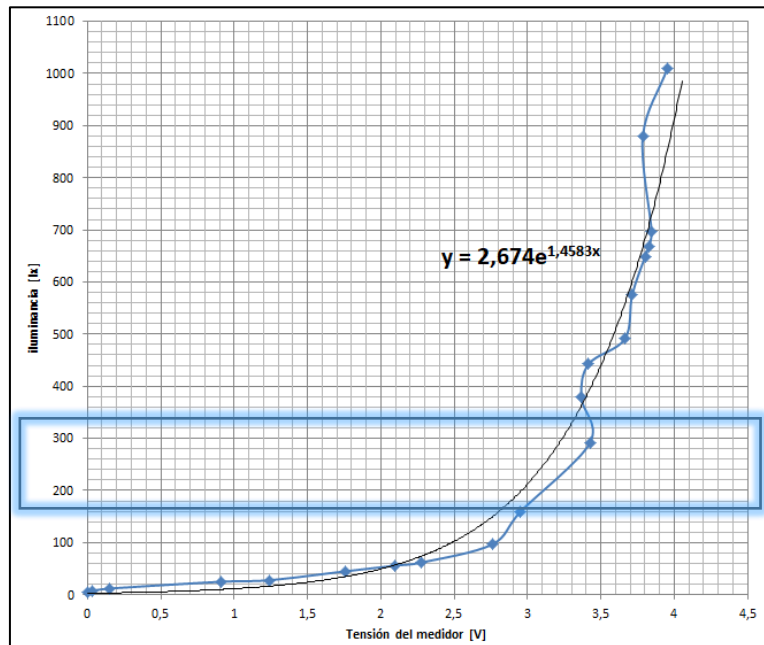


Fig. N° 5.14 Variación de la tensión del medidor en función de los lux aplicados.

De la gráfica se puede observar que:

1. El nivel de tensión máxima es de aproximadamente 4,3 VDC, esto quiere decir que se encuentra muy cerca del fin de la escala del ADC del micro, con referencia en 5 VDC. Entonces, el medidor podrá aprovechar gran parte de la escala sin ningún problema.
2. La variación de iluminancia, genera subidas de tensión que se aproximan a lo que sería una gráfica exponencial. Por lo tanto, se puede generar una línea de tendencia exponencial, que permita al micro convertir las mediciones realizadas en números decimales.
3. Considerando que la iluminancia general para un salón es de entre 200 y 300 lux, se considera que “ese” es el punto medio al que debe llegar el medidor.

### Montaje y ensayo real del prototipo

La fabricación del prototipo se dividió en dos partes: primero, el diseño de los PCB finales para cada tipo de módulo; segundo, la fabricación de las placas en sí. Además, se realizaron gabinetes para cada uno de ellos, utilizando impresión 3D.

El primer plano PCB realizado fue para el modulo principal, creado con el software Protheus V8.10 SP0 y bajo la premisa de ser una placa de simple faz. En la Figura 6.1 se puede observar un esquemático en 3D de la placa, donde no se muestra la fuente de alimentación por ser un componente externo, ni los módulos ESP-01. Como el sistema trabaja con valores de tensión de 220 VAC, al tiempo que precisa de niveles de voltaje mucho más bajos (de hasta 3,3 VDC), se puso especial atención en la ubicación de los componentes y en el camino que siguieron los conductores de tensión alterna, dejando islas aisladas, con el fin de evitar errores por contactos. En la figura 6.2 se muestra una foto real del prototipo final. En el sector donde se ubicarían los LED de notificación, se colocó la placa del circuito de LED.

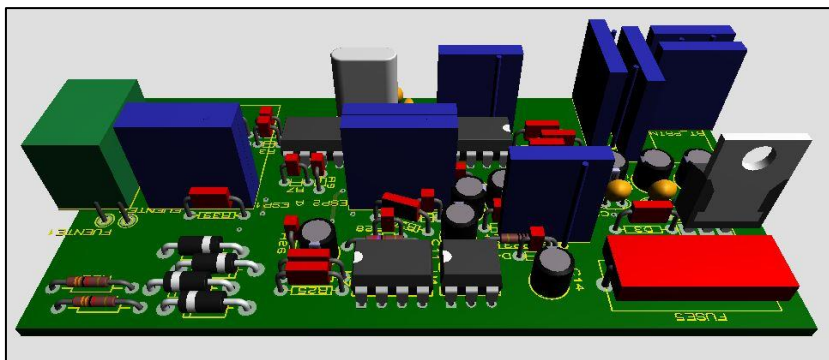


Fig. N° 6.1 Esquemático en 3D del circuito para el modulo principal.

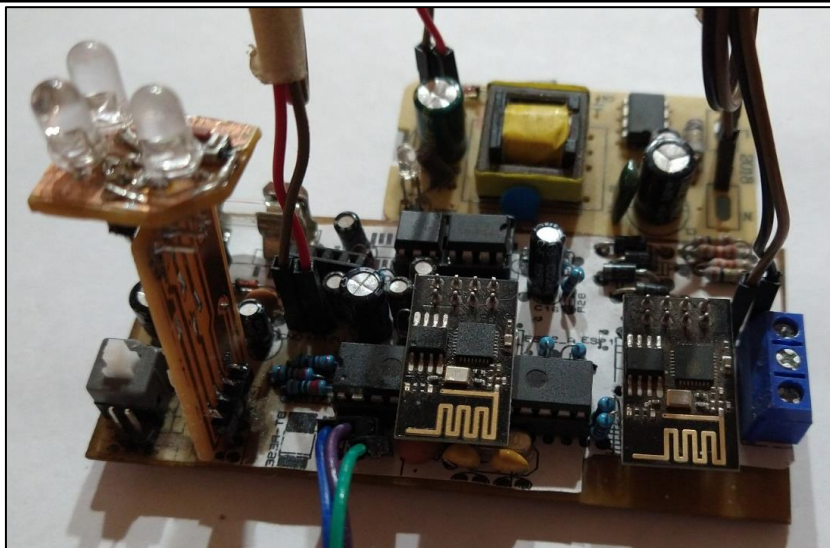


Fig. N° 6.2 Foto real del circuito para el módulo principal.

El segundo plano PCB, genera el circuito para el módulo de interruptores o periférico. También fue desarrollado con el software Protheus V8.10 SP0 y también debió ser una placa de simple faz. Aquí, al igual que el principal, se trabaja con tensiones alternas (220 VAC) y continuas (5-3,3-12 VDC), por lo tanto, es muy importantes determinar la ubicación de los componentes y de los conductores que van a llevar esas tensiones. Además, como se va a trabajar con corrientes elevadas (hasta 20 [A] en un canal, en el más extremos de los casos), las pistas por donde circulan dichas corrientes deben ser adaptadas (luego de la realización de la placa), ya que con la capa de cobre simplemente no bastaría. Estos conductores, se realizaron lo más ancho posibles y se reforzaron con estaño, para generar una mayor área por donde la corriente pueda circular. En la figura 6.3 se puede observar un esquemático 3D del circuito y en la figura 6.4 se muestra una foto real de la placa finalizada.

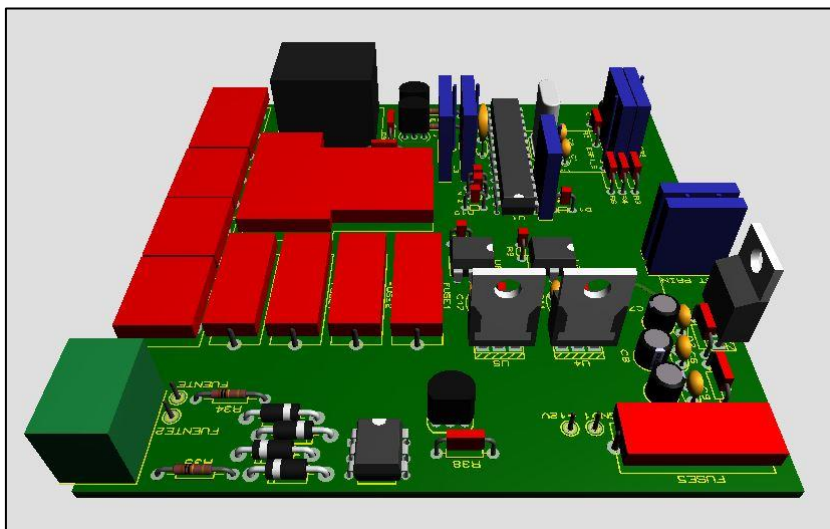
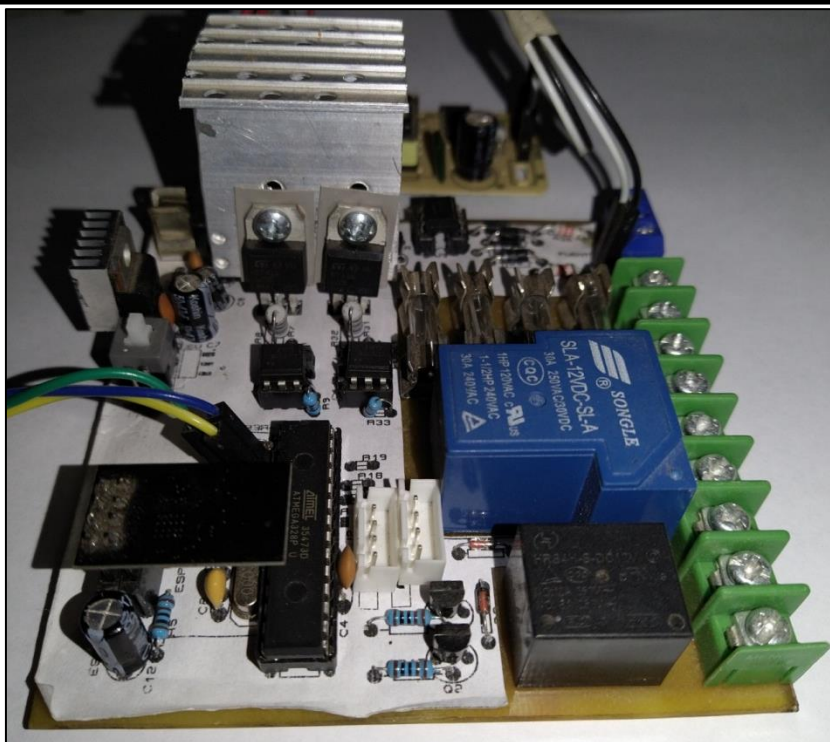


Fig. N° 6.3 Esquemático en 3D del circuito para el módulo de interruptores.





**Fig. N° 6.4** Foto real del circuito para el módulo de interruptores.

El tercer y cuarto plano, aplican para el circuito de los LED de notificación y el botón de cada módulo. En la Figura 6.5 se puede observar una foto real de la placa que se añade al principal, ya en uso. Mientras que en la figura 6.6, se muestra la placa extra que se añade a la de periféricos, que cuenta con los LED de notificación y con el medidor de iluminancia.



**Fig. N° 6.5** Foto real del circuito para los LED de notificación, módulo principal.



**Fig. N° 6.6** Foto real del circuito para los LED de notificación, módulo de interruptores.

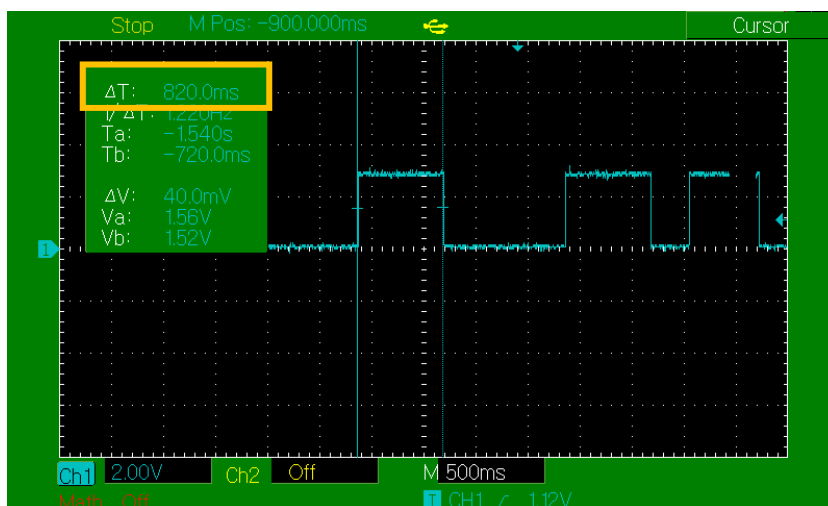


Los planos PCB de cada una de las placas finales desarrolladas, se muestran en el Anexo II de este mismo informe.

Ya con los prototipos ensamblados, se realizaron los ensayos que se explican a continuación:

#### Reconocimiento de los tiempos de respuesta reales de cada módulo.

Como se explicó anteriormente, la tasa de refresco del módulo principal, en función de la conexión con el servidor, es de 2 [Hz]. Lo que se hizo, fue medir esta tasa de refresco, activando o desactivando una salida digital (donde luego se conecta un LED de notificación) en función de la respuesta o no respuesta del servidor. En la Figura 7.1 se puede observar la señal de activación del LED en función del tiempo, imagen obtenida desde un osciloscopio digital. Allí, se denota que la frecuencia de la señal es de aproximadamente 0,5 [Hz], por lo que se encuentra una diferencia respecto del planteamiento inicial. Analizando la trama de comunicación entre el ESP y el micro, se observa que el tiempo total de respuesta pasa a ser de aproximadamente 768 [ms], lo que genera un desfasaje y retardo en la frecuencia de conexión. Si se observa la Figura 7.2, se podrá notar este aumento en el tiempo de respuesta. Ahora, si se analiza el retardo que tiene el sistema para comunicarse con el servidor, utilizando simplemente la función “ping” en el símbolo de sistema de Windows (Figura 7.3), se puede notar que en el momento en que se realizó la prueba, el tiempo de retardo era muy elevado, del orden de los 250 [ms]. Por lo tanto, existe una clara dependencia en lo que respecta a la velocidad de conexión, para que el sistema pueda tomar decisiones más rápidas. A su vez, se pueden generar problemas de conectividad que también dificulten el funcionamiento y lo hagan un poco más retardado.



**Fig. N° 7.1** Señal de respuesta del LED de notificación de conexión.

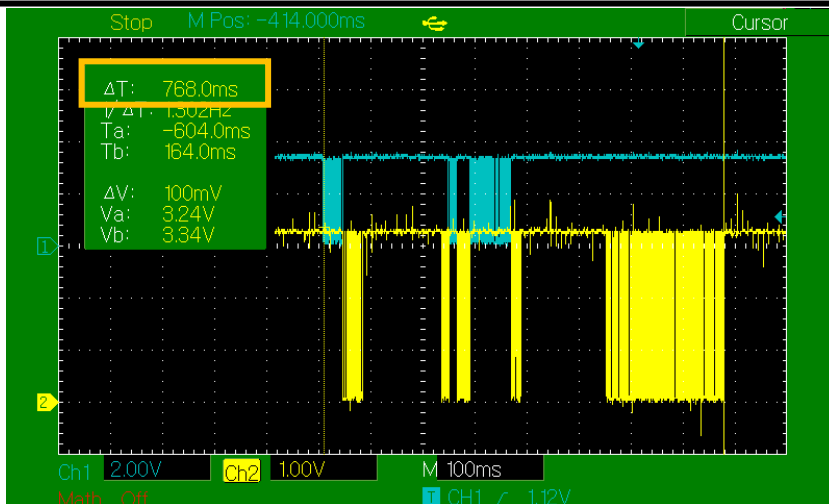


Fig. N° 7.2 Señal de respuesta del LED de notificación de conexión.

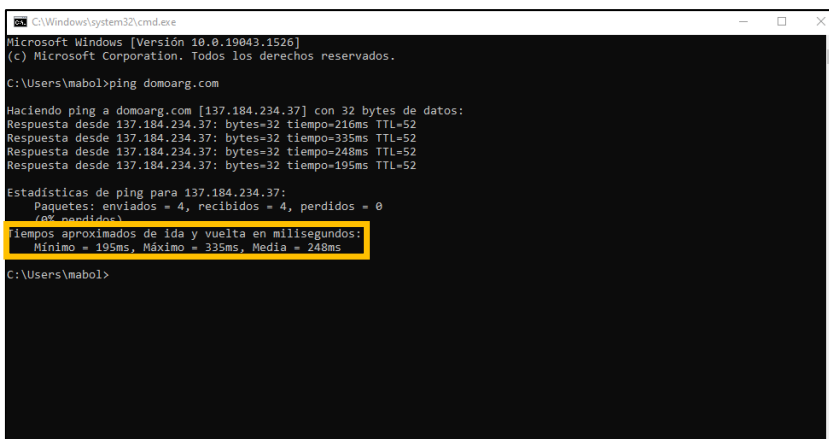


Fig. N° 7.3 Señal de respuesta del LED de notificación de conexión.

Siguiendo con la última parte del análisis anterior, es posible medir una tasa media de fallos. Para esto, se realiza un registro de la cantidad de fallos y de la cantidad de aciertos que se generan en un día, y se calcula la tasa media de fallos en función del número de peticiones totales. Con los mismos datos, se puede generar un gráfico que muestre las horas del día con mayor número de errores, determinando el tiempo medio entre fallos. La gráfica se puede ver en la Figura 7.4. De esta última, se puede observar como la cantidad de errores aumenta durante la tarde y se mantiene constante en horas de la madrugada/mañana cuando el tráfico de información es menor.

Valores medidos:

Número de conexiones: 174965 intentos.

Tiempo de conexión: 24 horas, 18 minutos y 2 segundos.

Número total de fallos: 123.



Tasa media de fallos: 1 falla cada aproximadamente 1428 intentos.

Tiempo medio entre fallos: 1 falla cada aproximadamente 11 min. y 54 seg.

Tiempo entre fallas, peor hora: 1 falla cada aproximadamente 3 min. Y 45 seg.

Tiempo entre fallas, mejor hora: 1 falla cada más de 60 min.

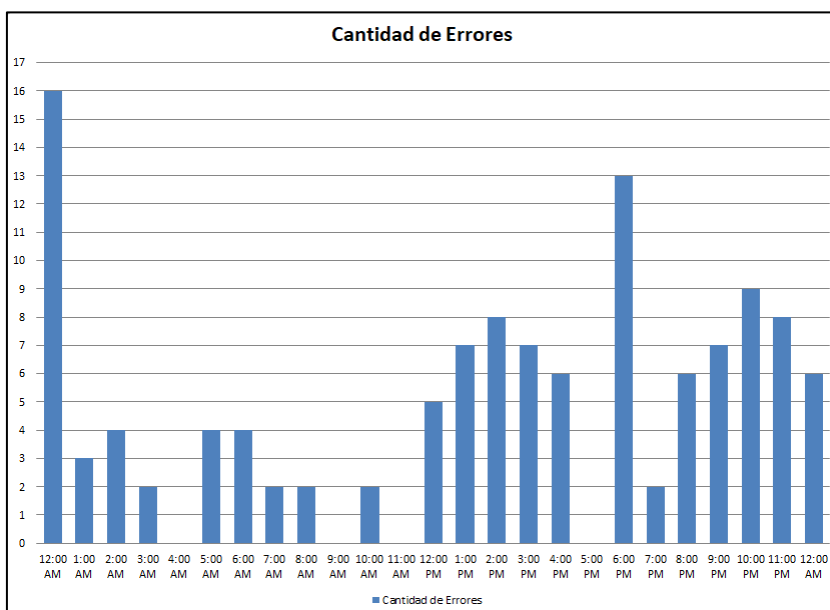


Fig. N° 7.4 Grafico de histogramas, cantidad de fallas por hora del día.

Respecto del módulo de interruptores, su tasa de refresco depende del principal. Sin embargo, si se lo toma como un conjunto (principal + periférico), se puede determinar el tiempo de respuesta, desde que el usuario realiza una modificación, hasta que el interruptor en cuestión cambie su estado. Para medir esto, en el módulo periférico, se activa una salida digital al momento de realizar un cambio en el servidor, y se mide el tiempo que tarda dicha salida en cambiar. La activación se hace por interrupción, para que el tiempo sea más preciso. El resultado se muestra en la Figura 7.5 y en la 7.6, donde se observa el peor de los casos. Durante el ensayo, se encontró que algunas veces el módulo periférico no respondió a los cambios. Se pudo determinar que estos errores, se debían principalmente a una falla en la conexión con el modulo principal. Para solucionar este inconveniente, se realiza un refresco de la conexión una vez cada tres segundos.

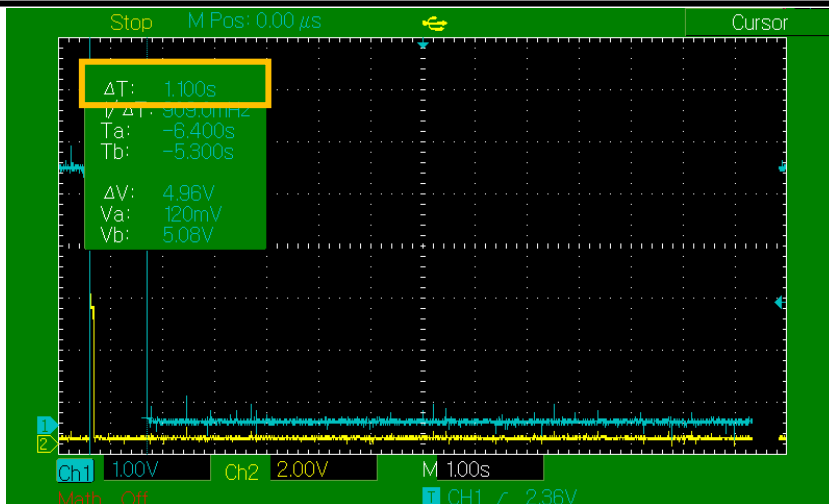


Fig. N° 7.5 Tiempo de respuesta (principal + periférico), mejor caso.

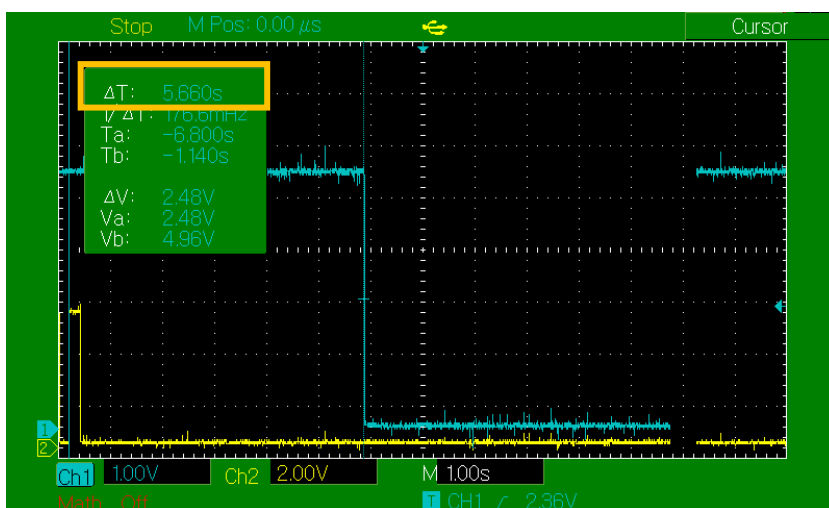


Fig. N° 7.6 Tiempo de respuesta (principal + periférico), peor caso.

### Calibración del interruptor electrónico.

Cuando se trabaja con cargas domiciliarias, resulta muy difícil determinar una única naturaleza de carga, es decir, se pueden encontrar inductivas, resistivas y hasta capacitivas. Por lo tanto, se dificulta encontrar un punto en donde el TRIAC trabaje de forma correcta, en relación a las señales de activación que se le están enviando. Uno de los peores casos de funcionamiento, se ven en las Figuras 5.10 a la 5.13, donde la carga es prácticamente inductiva y el tiristor no es capaz de funcionar correctamente en todo el semiciclo. Entonces, al tener de referencia este caso, será posible configurar al interruptor, para que pueda variar la potencia de casi cualquier carga o aparato del hogar.

Partiendo de la base antes dispuesta, existen 2 [ms] de estabilización de la tensión de carga, es decir, en este periodo de tiempo, no es posible modificar la forma de onda. Luego, existen 8 [ms] de onda donde el TRIAC puede funcionar. Si se deja un margen de 2 [ms] al final, quedan 6 [ms] de onda que pueden variarse. Si se utiliza una carga con un FP=0,8 y donde circula una corriente de 1 [A], el área bajo la curva de



potencia es igual a:

$$d_1 = 1,7798(\text{Area de } P_{media}) \equiv 177,98 [W] \rightarrow FP = 0,809 = \cos(36)$$

En la Figura 7.7 se puede observar un gráfico donde se mide la potencia consumida por la carga, donde el área bajo esa curva corresponde con la potencia media consumida. Ahora, si se sigue hacia la Figura 7.8, se podrá notar que el área no se toma hasta el final del semiperiodo, sino que se hace 2 [ms] antes, esto es por el margen que se le dio al control del TRIAC, de esta forma, la potencia media que puede controlar es más baja que la real:

$$d_2 = 1,551 (\text{Area de } P_{media_{Ctrl}}) \equiv 155,1 [W] \rightarrow FP = 0,809 = \cos(36)$$

Entonces, si se compara la potencia media controlable con la real, se obtiene que el sistema puede manipular el consumo de la carga en un 87,14%, es decir, existe un 12,86% de potencia que el sistema no es capaz de ajustar.

$$Ctrl_{\%} = \frac{d_2}{d_1} * 100\% = 87,14\% \quad (\text{Ecu. 9})$$

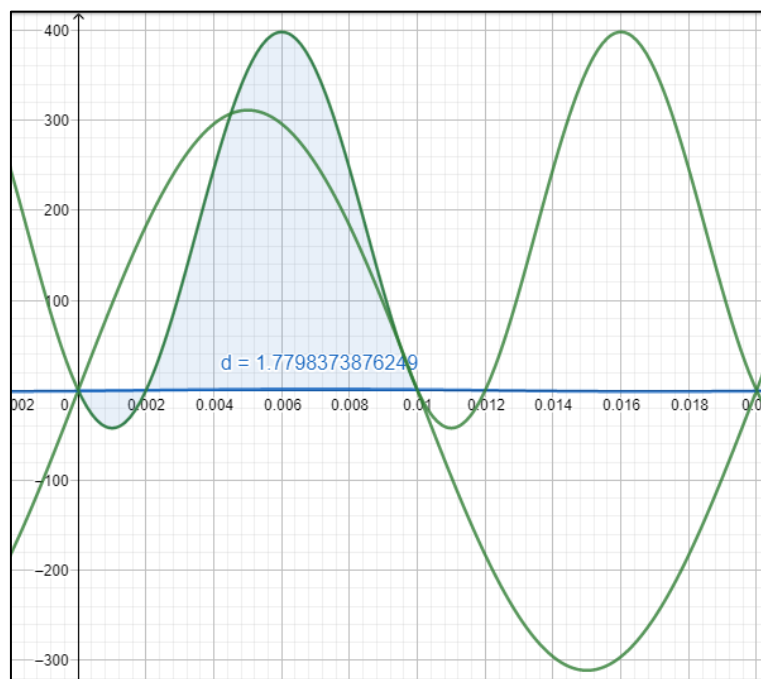
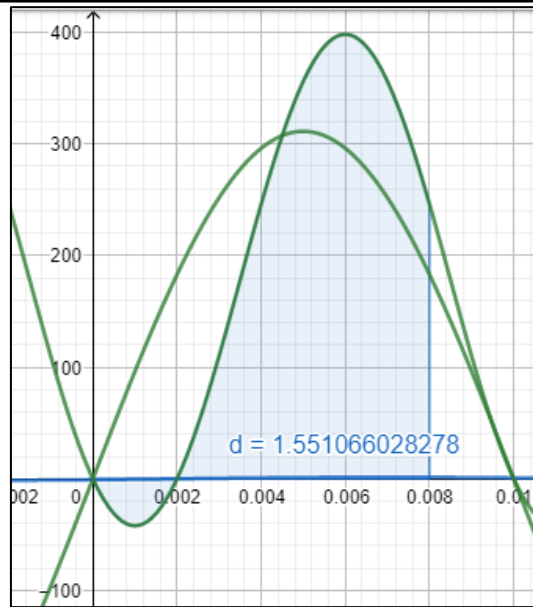


Fig. N° 7.7 Potencia media consumida por una carga de 1[A] y FP=0,8.



**Fig. N° 7.8** Potencia media controlable por el interruptor electrónico, carga de 1 [A] y FP=0,8.

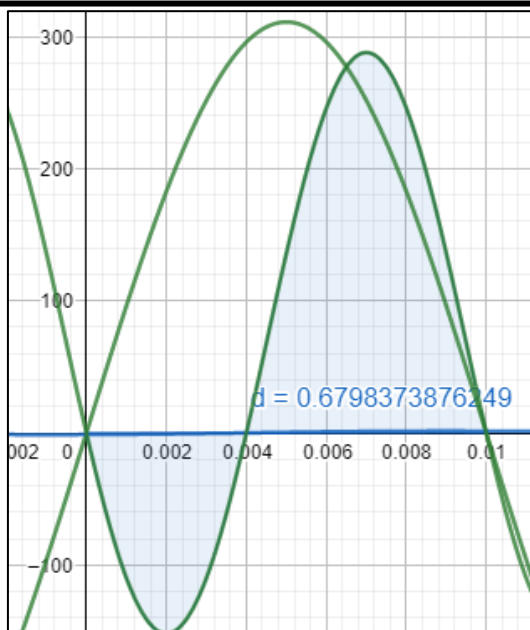
Ahora, si en lugar de un FP=0,8 se toma un FP=0,3; los resultados de potencia media cambiarían de la siguiente manera:

$$d_1 = 0,6798 \text{ (Area de } P_{media}) \equiv 67,98 \text{ [W]} \rightarrow FP = 0,309 = \cos(72)$$

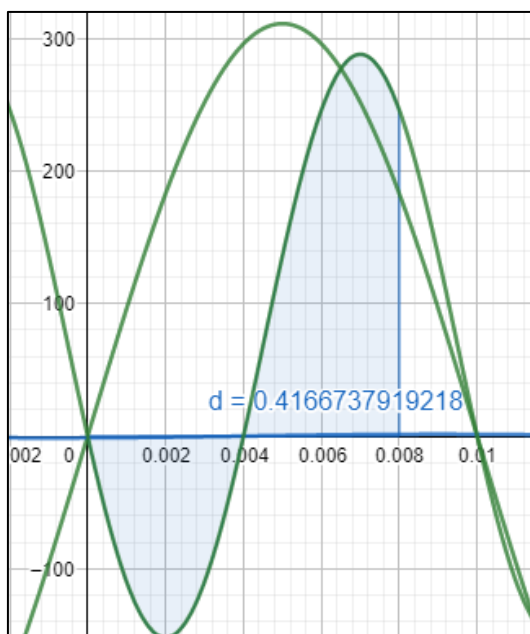
$$d_2 = 0,4167 \text{ (Area de } P_{media_{ctrl}}) \equiv 41,67 \text{ [W]} \rightarrow FP = 0,309 = \cos(72)$$

Y en consecuencia, el porcentaje de potencia controlable disminuiría hasta los 61,3%; teniendo en cuenta que debe modificarse el punto inicial en milisegundos (a 4 [ms]).

$$Ctrl_{\%} = \frac{d_2}{d_1} * 100\% = 61,3\% \quad (\text{Ecu. 10})$$



**Fig. N° 7.9** Potencia media consumida por una carga de 1[A] y FP=0,3.



**Fig. N° 7.10** Potencia media controlable por el interruptor electrónico, carga de 1 [A] y FP=0,3.

Siguiendo con lo desarrollado anteriormente, se realiza una prueba con la carga de FP=0,8; variando el punto de disparo, para determinar el consumo real de la carga en cada momento. Entonces, se mide la tensión eficaz y corriente eficaz en cada variación del disparo, para obtener una curva de potencia media real y compararla con la potencia media total.

Para esta carga:

$$V_{ef} = 220 [V]; I_{ef} = 100 [mA]$$



$$P_{media_{tot}} = V_{ef} * I_{ef} * FP = 17,6 [W] \quad (Ecu. 11)$$

Las variaciones de disparo se dividen en 11 niveles, donde el nivel 0, indica que el OPTO-TRIAC debe apagarse totalmente y el nivel 10, que debe encenderse totalmente. Por lo tanto, los niveles regulables son 9 y tienen saltos de 0,7 [ms] (5 ciclos de Timer). En la figura 7.11 se muestra una gráfica de la potencia media consumida en cada salto y su porcentaje respecto de la total.

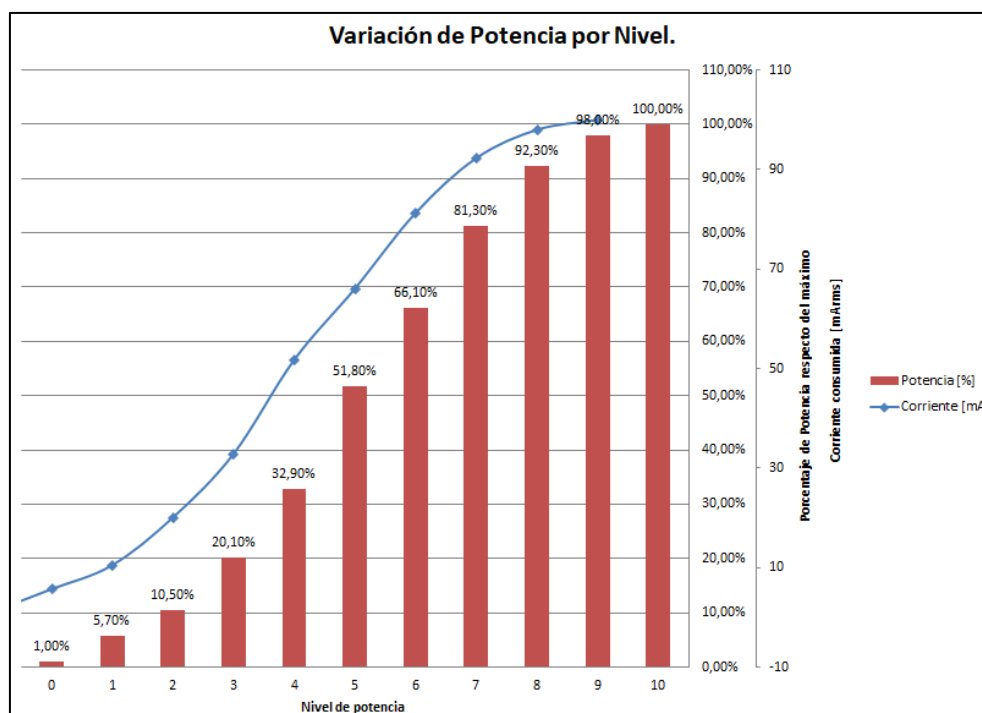


Fig. N° 7.11 Potencia media consumida por nivel del interruptor, carga inductiva.

Para una carga resistiva:

$$V_{ef} = 220 [V]; I_{ef} = 4,5 [A]$$

$$P_{media_{tot}} = V_{ef} * I_{ef} * (FP \approx 0) = 990 [W] \quad (Ecu. 12)$$

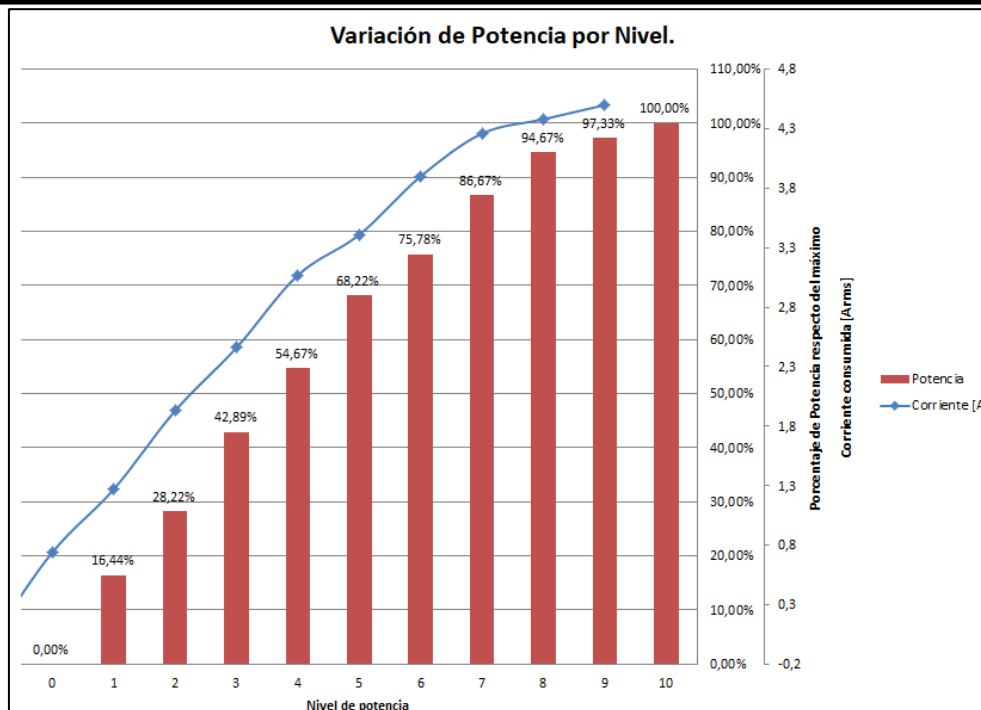
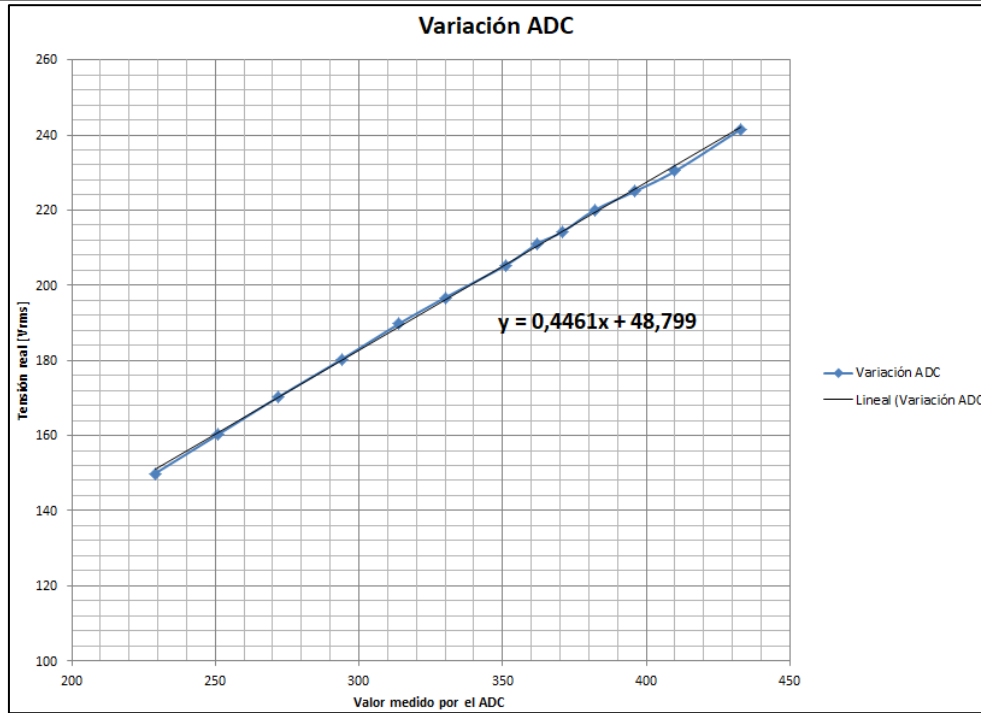


Fig. N° 7.12 Potencia media consumida por nivel del interruptor, carga resistiva.

### Calibración del medidor de tensión.

Para la calibración, se utilizó un autotransformador que modificó la tensión alterna de entrada desde 150 VAC hasta 240 VAC. La salida del autotransformador se conectó a la entrada del módulo principal y durante la variación, se hizo un registro de la lectura que realizaba el medidor. Para conocer la lectura, se enviaban los datos (en formato decimal) que tomaba el conversor AD, a través del puerto Serial y con el IDE de Arduino se registraban los cambios. En el Anexo 1, bajo el título: Circuito de prueba - Medidor de tensión, se muestra el circuito utilizado para las mediciones. Los valores de tensión de entrada, fueron registrados con el multímetro TS-132A (Figura 7.16) y se lo toma, a este mismo, como al elemento patrón. En la Figura 7.13 se muestra el valor de tensión real medido, en comparación con el valor decimal obtenido del conversor analógico-digital.



**Fig. N° 7.13** Gráfica de valor del ADC vs Tensión real medida.

Para la curva de la Figura 7.14, se compara la relación  $V_{real}/V_{medida}$  con el valor ADC para obtener la pendiente, que multiplicada por el valor del ADC, obtendría el valor de tensión real. Se genera una línea de tendencia lineal, ya que es la función que mejor se adecua a las mediciones realizadas y la que generaría menor error en la medición. Con esta línea, se obtiene la función que rige la conversión realizada por el medidor (con el conjunto rectificador-separador-filtro-amplificador) y que luego mide el ADC. Entonces, aplicando esta fórmula a los valores que llegan del conversor, se puede estimar con gran exactitud el valor de la tensión eficaz de entrada.

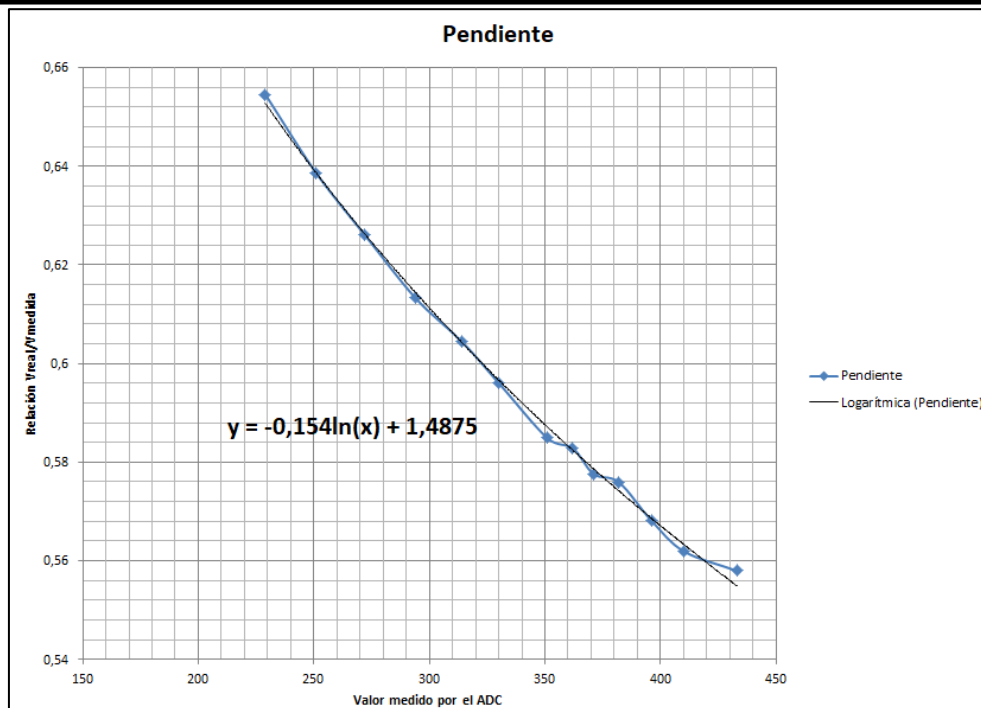


Fig. N° 7.14 Curva de pendiente para cálculo del valor de tensión medido.

En la Figura 7.15 se muestra un curva que compara la medición realizada por el elemento patrón (Figura 7.16) y por el medidor. Se puede ver que el error que se genera es mínimo y para los fines del proyecto, cumple ampliamente con las expectativas.

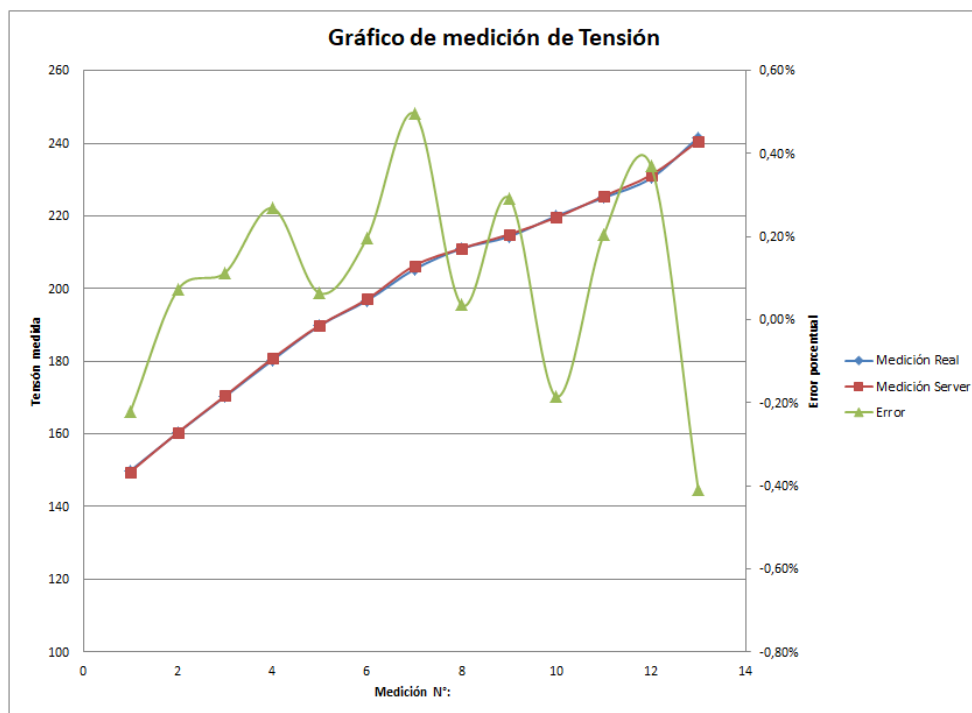


Fig. N° 7.15 Curva de constatación del medidor con el instrumento patrón.



**Fig. N° 7.16** Instrumento patrón, multímetro TS-132A.

La principal desventaja que se pudo observar en este sistema, es la gran variabilidad que puede llegar a tener un optoacoplador en cuanto a su CTR, lo que complicaría la medición precisa del nivel de tensión real, ya que esto depende de la fórmula obtenida de la curva de la Figura 7.14. En ella, el nivel de voltaje de la señal de salida del optoacoplador, siempre depende del CTR y puede ser mayor o menor, lo que variaría la lectura del ADC del micro y, al mismo tiempo, el valor de tensión que pueda mostrar el servidor. En la Figura 7.17, se puede observar otra curva de comparación como la de la Figura 7.15, solo que ahora se cambia el optoacoplador por uno distinto, pero de iguales características. Es importante observar como el error aumenta respecto de la anterior medición, al tiempo que se mantiene con pendiente constante, por lo tanto, si se calibrara y corrigiera la medición para un único valor (por ejemplo 220 VAC), para las demás mediciones también se podría notar esta corrección. Esto último puede verse en la Figura 7.18.

La corrección frente a un cambio en el optoacoplador que se está usando, puede hacerse de dos formas: generando un factor de corrección por software (directamente en el servidor) o modificando la ganancia del filtro pasa bajos. Para cualquiera de las dos opciones, se precisa de un desarrollo más complejo del problema y puede verse como una posible mejora a realizar en el proyecto.

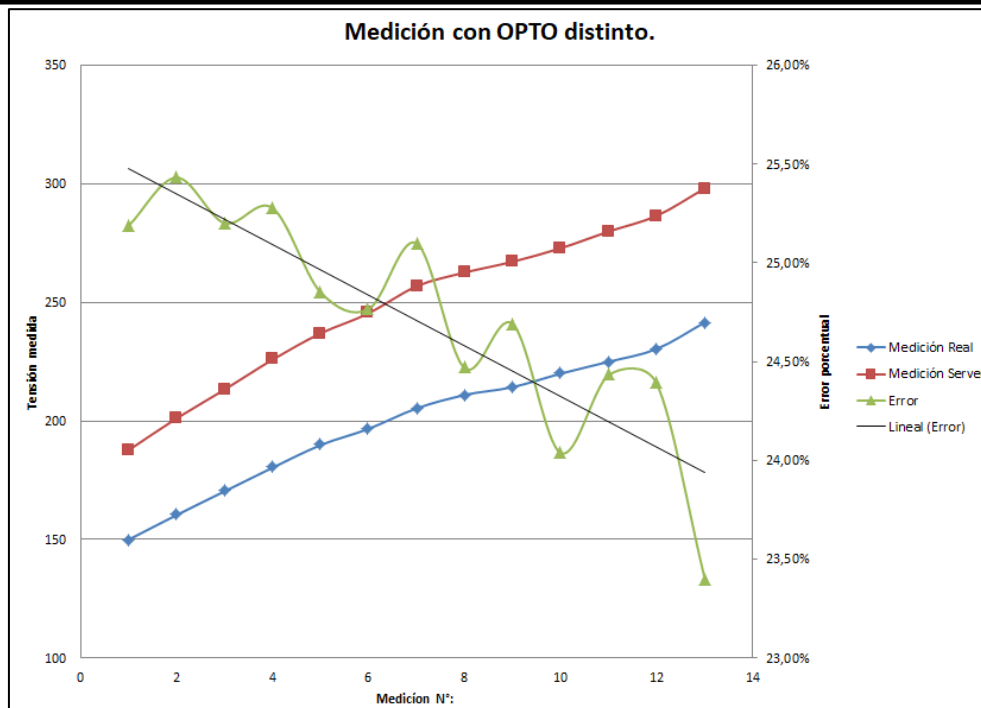


Fig. N° 7.17 Curva de constatación cambiando el optoacoplador.

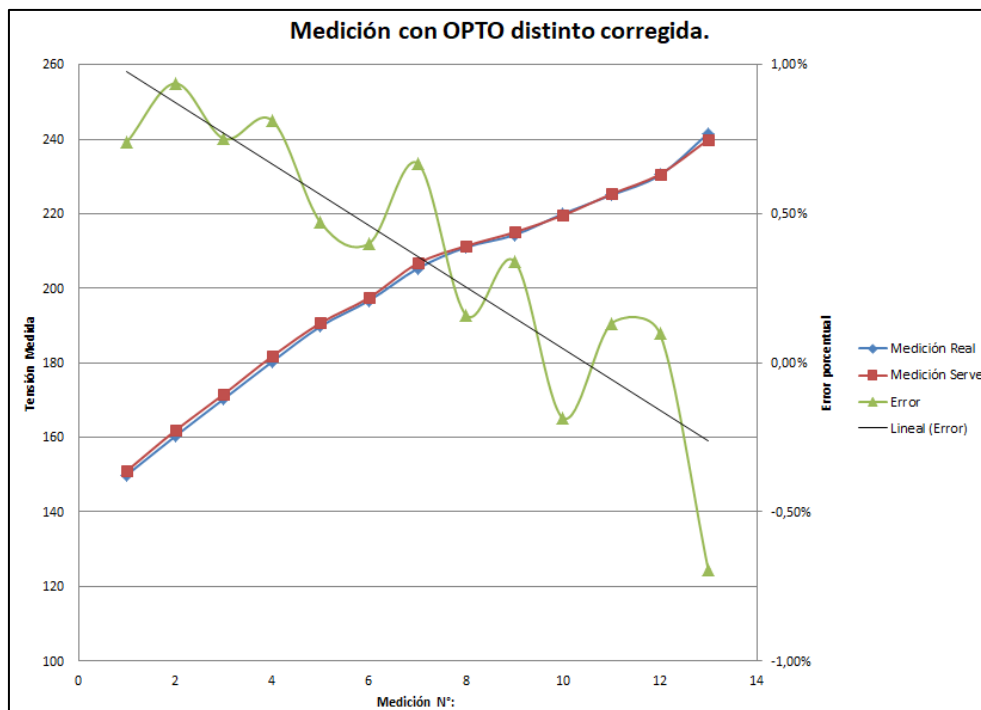


Fig. N° 7.18 Curva de constatación cambiando el optoacoplador y corrigiendo el factor.

### Calibración del medidor de iluminancia

La calibración se hace en base al control de una lámpara incandescente de 20 [W]. Entonces, tomando la gráfica de la Figura 5.14, se centra en los valores de tensión



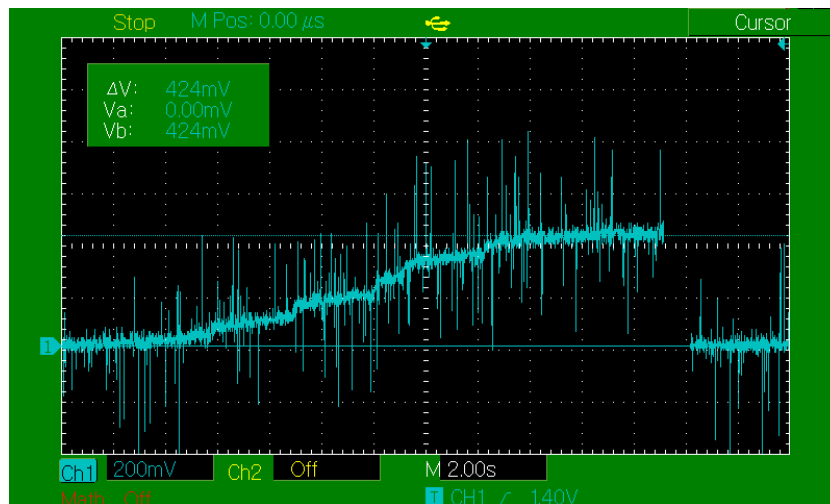
comprendidos entre los 200 y 300 lux. Mientras la función automática del interruptor se encuentre activa, se medirá la iluminancia y se determinará si es necesario aumentar o disminuir el nivel de potencia.

La medición se realiza cada 5 minutos, porque se presupone que las variaciones en los niveles de luz no son tan bruscas. De esta forma, se evita la oscilación del sistema en niveles de indecisión (cercano a los 200 o 300 lux), que podrían provocar daños a las luminarias.

Después del cambio de potencia, se realiza una segunda medición y si no se obtuvo el cambio esperado, se vuelve a modificar el nivel. Cuando se llega al nivel 10 o al nivel 0, no se producen variaciones hasta pasados los 5 minutos.

Para comprobar este comportamiento, se observaron los cambios del nivel de potencia (entregados a la luminaria), a razón del cambio en la tensión del medidor. La experiencia se realiza en un cuarto totalmente oscuro y se deja al sistema actuar libremente para llegar al punto de equilibrio. Es en la figura 7.19 donde se puede observar el aumento de tensión a medida que el tiempo pasa.

*Nota: Aquí las variaciones se realizaron cada 1 segundo para poder visualizar los cambios en el instrumento.*



**Fig. N° 7.19** Variación del nivel de tensión del medidor, por aumento automático de potencia.

### **Análisis del sistema en campo**

Ahora que se tienen los dispositivos ensamblados y listos para trabajar, se explica cuáles son los pasos a seguir para su configuración y cómo fue su desempeño en un día de trabajo normal.

#### Primera configuración

1. Lo primero que debe hacerse, es encender tanto el módulo principal como el módulo periférico. En esta primera instancia, se recomienda que no estén alejados más de 1 metro [m].



2. Luego, se debe instalar la aplicación “EspTouch” en cualquier dispositivo Android o iOS. Esta “App”, creada por el fabricante ESPRESSIF, ayuda al módulo principal a conectarse a la red WiFi domiciliaria. A continuación se dejan los códigos QR para la descarga de la App.



Fig. N° 8.1 *EspTouch -Android-*.



Fig. N° 8.2 *EspTouch -iOS-*.

3. Una vez instalada la aplicación, se procura conectar el dispositivo Android o iOS, a la red WiFi que se va a utilizar para los módulos. Luego, se abre la “App” y se observa una pantalla como la de la Figura 8.3. Allí, se encuentra:
  - a. SSID: Nombre de la red WiFi.
  - b. Password: Aquí debe escribirse la contraseña de la red a la que se quiere conectar.
  - c. Device count: Es el número de dispositivos a conectar. Para un único módulo principal, se selecciona 1.
  - d. Se deja seleccionada la opción “Broadcast”.

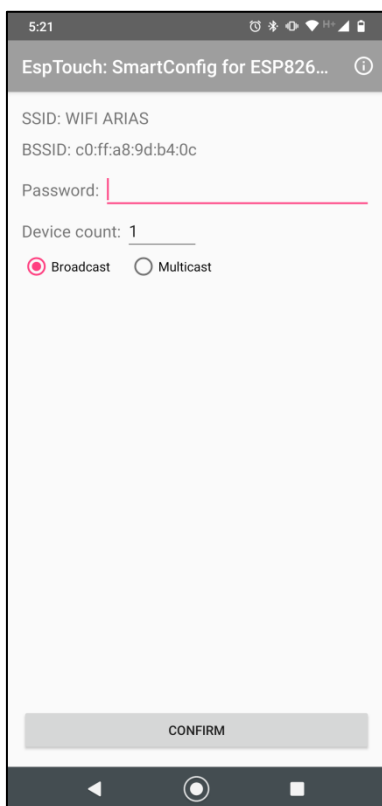
Una vez completado el campo de “Password”, se presiona el botón “CONFIRM” y se espera a que el dispositivo encienda el LED verde 3 veces seguidas. Cuando esto ocurre, quiere decir que la configuración fue exitosa.

Si en cambio se enciende el LED rojo, la conexión fue errónea y se debe cerrar y volver a abrir la aplicación, para un nuevo intento de conexión.





*Nota: El LED color blanco, indica que el dispositivo está en espera de configuración.*



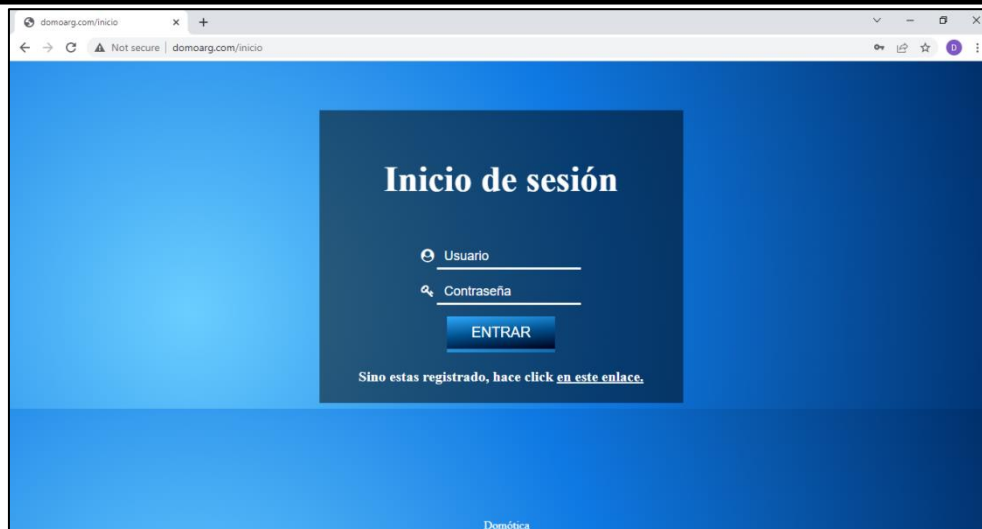
**Fig. N° 8.3** Pantalla de configuración de la aplicación EspTouch.

4. Ahora que el módulo principal se encuentra conectado, el módulo de interruptores se conecta automáticamente con el primero y enciende su LED color verde.

#### Trabajando con el servidor Web.

Para poder controlar los distintos interruptores, conocer la tensión de red y generar programas de encendido y apagado, es necesario generar un Usuario en el servidor Web **domoarg.com**. Este, fue desarrollado para que desde cualquier dispositivo con navegador Web, se pueda controlar al sistema. Entonces, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Al ingresar por primera vez, se encuentra con la pantalla de la Figura 8.4. Allí, debe hacerse clic sobre el enlace debajo (“en este enlace”). Cuando se tenga un usuario, simplemente se ingresa el usuario y contraseña registrado.



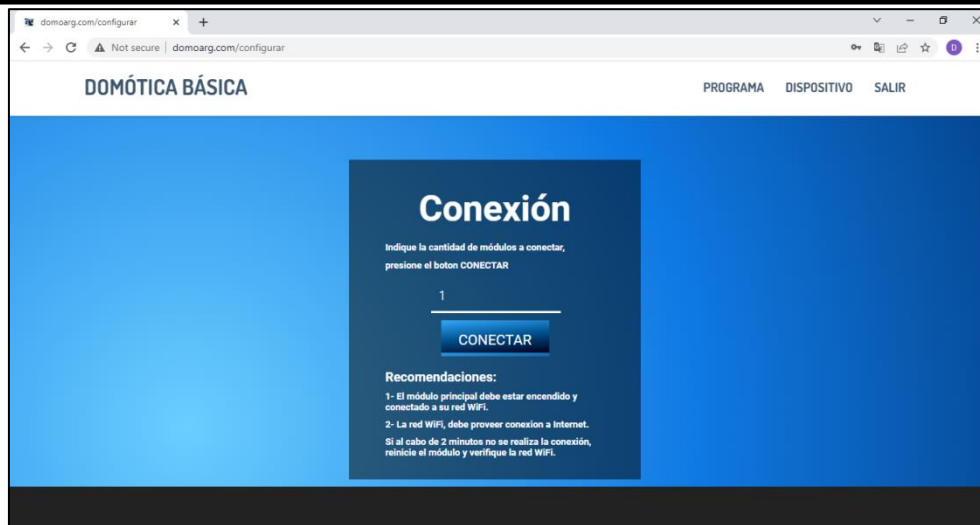
**Fig. N° 8.4** Pantalla de Inicio del servidor Web.

2. Ingresando en ese enlace, se encuentra el formulario de registro, Figura 8.5. Una vez que se completen los datos, se presiona el botón “GUARDAR” y se espera hasta que se redirija a la página de Inicio.



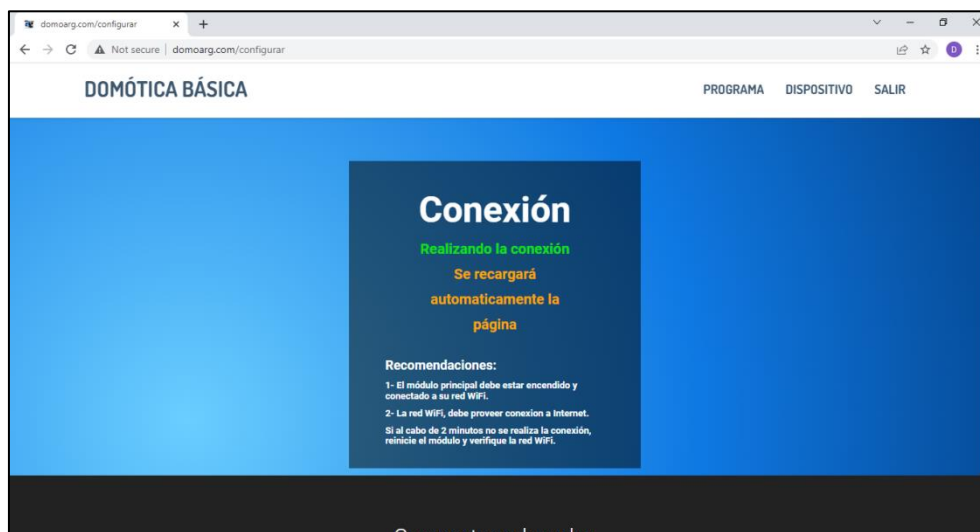
**Fig. N° 8.5** Pantalla de Registro del servidor Web.

3. Nuevamente en la pantalla de la Figura 8.4, ahora se ingresan el Usuario y Contraseña registrados, presionando “ENTRAR” al finalizar.
4. Una vez que se ingresa, se encuentra con la pantalla de la Figura 8.6. Esta, indica la configuración inicial del módulo principal. Aquí, debe ingresarse el número de módulos de interruptores o periféricos con los que va a contar el sistema. Por defecto, se utilizará un único modulo. A continuación, se presiona el botón “CONECTAR”.



**Fig. N° 8.6** Pantalla de Configuración inicial del servidor Web.

5. Ahora se está intentando realizar la conexión con el modulo principal, Figura 8.7. Cuando se logre, la página se recargará automáticamente y se mostrará la pantalla de control.



**Fig. N° 8.7** Pantalla de Configuración inicial del servidor Web, primera conexión.

6. Entonces, en la Figura 8.8 se puede observar la pantalla de control. Siempre que se presione la palabra “DOMOTICA BASICA”, se podrá volver a esta página.

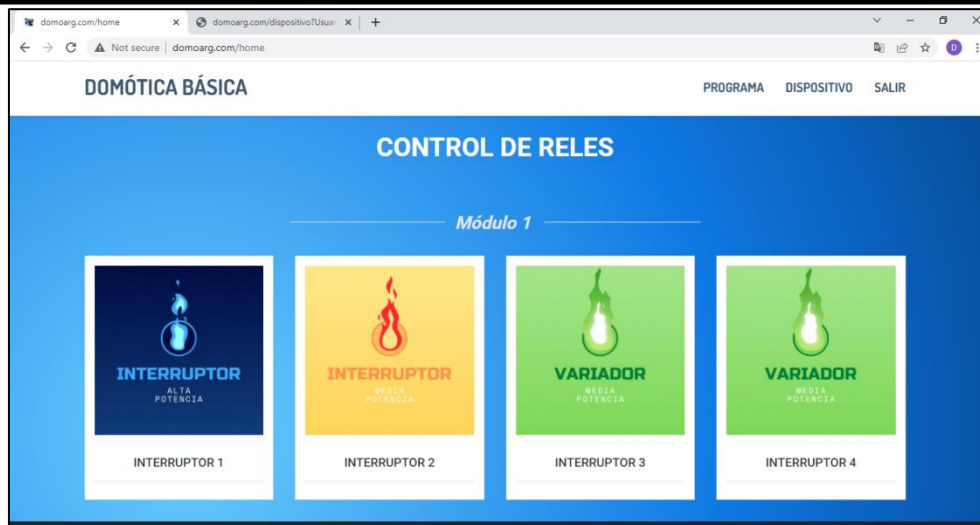


Fig. N° 8.8 Pantalla de Control principal del servidor Web.

### Uso del sistema

Ahora que se lograron las configuraciones iniciales, es importante conocer cómo puede utilizarse el control de interruptores. Tomando como referencia la Figura 8.8, se puede decir que:

1. Como se sabe, cada módulo periférico cuenta con 4 interruptores, uno para alta potencia, uno para potencia media y dos de control electrónico, que permiten la variación de potencia. Para los primeros dos, el control es “ENCENDER” o “APAGAR” (Figura 8.9), mientras que para los segundos, pueden usarse 11 niveles, donde el nivel 0 apaga el interruptor y el 10 lo enciende a máxima potencia (Figura 8.10).

*Nota: No todos los equipos eléctricos aceptan una variación de potencia.*



Fig. N° 8.9 Control de Interruptor Electromecánico.



**Fig. N° 8.10** Control de Interruptor Electrónico.

2. Si se selecciona la página “PROGRAMA”, se podrán configurar las horas de inicio y apagado de los interruptores.
3. Si se selecciona la página “DISPOSITIVO”, en un futuro, se observará una imagen general del sistema de módulos instalados con referencias visuales para cada interruptor.
4. Por último, al presionar sobre “SALIR”, automáticamente se cierra la sesión, para que pueda entrarse con otro Usuario al sistema o simplemente para dejar la sesión cerrada.

*Nota: Al cerrar la sesión del Usuario con la que se configuró el módulo, no se pierden los programas ni los estados de los interruptores, pero no se pueden hacer modificaciones hasta que se ingrese con el mismo Usuario.*

Para el control del “PROGRAMA”, se toma de referencia la Figura 8.11. Aquí, hay que saber que, el lado izquierdo de la pantalla sirve para lograr la configuración y el lado derecho para visualizarla. Entonces, se debe seleccionar:

- El número del módulo periférico: del 1 al 4 (máximo permitido).
- El tipo de relé a modificar: Alta potencia, Media potencia, Variable 1 o Variable 2.
- El estado al que se lo quiere llevar: Siempre debe seleccionarse si se quiere ENCENDER o APAGAR, aunque sea del tipo Variable.
- Si se trata de un interruptor Variable, es necesario ingresar el nivel de potencia que se requiere, de 0 hasta 10, en la casilla a la derecha.
- La hora en que la orden debe cumplirse, en horas y minutos.

Cuando todo se configura, se presiona el botón “ENVIAR” para que sea guardada la configuración.



Fig. N° 8.11 Pantalla de configuración de programa.

Ahora, si se observa la Figura 8.12, se podrá encontrar el programa guardado para la hora seleccionada.



Fig. N° 8.12 Pantalla de visualización de programas.

### Presentación final del prototipo

Tanto el módulo principal como el de interruptores, deben poder ubicarse en paredes y techos de cualquier domicilio particular. Es por esto, que deben tener una carcasa o gabinete que puede contener los circuitos y no sea una molestia para la conexión, además, debe generar un grado de protección para los mismos.

Ambos gabinetes se generan y construyen en una impresora 3D, para que tengan la medida justa, respecto de sus circuitos y borneras. En la Figura 9.1 se muestra el diseño para el módulo principal y en la Figura 9.2 para el módulo de interruptores.



**Fig. N° 9.1** *Gabinete para el módulo principal.*



**Fig. N° 9.2** *Gabinete para el módulo de interruptores.*



En el caso del principal, debe ubicarse en una posición central en el hogar, y cercano a la conexión WiFi. En lo posible, debe buscarse una caja de inspección de la instalación eléctrica para poder tomar los cables de alimentación desde ella misma. Es importante recordar que una de las características más importantes de este proyecto, es poder instalarlo en cualquier instalación domiciliaria, sin importar su antigüedad o diseño.

El módulo de interruptores, debe encontrarse próximo o sobre las cajas de inspección del circuito eléctrico, desde donde se generarán las conexiones para los tomacorrientes y lámparas.





---

## Conclusiones

En el presente informe, se muestra el desarrollo completo de un sistema de control de interruptores, automatizado y con conexión a Internet, que demuestra las grandes posibilidades que se tienen a la hora de trabajar con objetos IoT.

Durante el desarrollo del proyecto, muchos de los componentes seleccionados, por costos, durabilidad, facilidad de manejo y/o robustez, no cumplieron con los objetivos para los que fueron seleccionados y debieron modificarse. Sin embargo, todos estos desafíos fueron superados y adaptados a las necesidades originales del sistema.

Se pudieron desarrollar dispositivos funcionales, compactos y adaptables a las necesidades de distintas redes domiciliarias, manteniendo una buena relación entre la calidad y el costo de los componentes utilizados. Además, se pudo cumplir con la mayor parte de los objetivos planteados, manteniendo y hasta mejorando las especificaciones buscadas al inicio del desarrollo.

Ahora que el sistema se encuentra en funcionamiento, es importante destacar que las posibilidades de mejora, son muchas y muy amplias. Se puede mejorar respecto a los sensores que envían información a los módulos, o respecto de los interruptores que operan las conmutaciones o incluso respecto al servicio Web que se ofrece junto con el equipo.

Un servidor Web con un desarrollo más complejo, puede albergar una mayor cantidad de información y generar: mejores condiciones de decisión para los módulos, mejor entorno grafico para el usuario, mayores funcionalidades respecto a programación de tareas, mayor cantidad de opciones de configuración para el usuario, entre otras cosas.

Utilizar un Microcontrolador de 8 bits, tiene la principal ventaja en su facilidad de uso y en su costo, sin embargo, las velocidades de procesamiento no son su fuerte. Al mismo tiempo, el chip ATMEGA 328p, no cuenta con múltiples puertos Serie físicos, lo que dificulta la tarea del módulo principal, en cuanto a velocidad de comunicación. Entonces, utilizando un chip más potente como por ejemplo el ATmega2560, se podría mejorar notablemente el tiempo de refresco con el servidor, la velocidad de comunicación con el módulo WiFi, la velocidad y precisión en la adquisición de datos y hasta la cantidad de relés controlables por módulo de interruptores, con la desventaja de aumentar los costes de desarrollo y producción de cada placa.



## Anexo I

En este anexo se muestran todas las placas y sistemas auxiliares que se utilizaron durante el desarrollo del proyecto.

### Placa de prueba 1 - Adaptador de Nivel para ESP-01

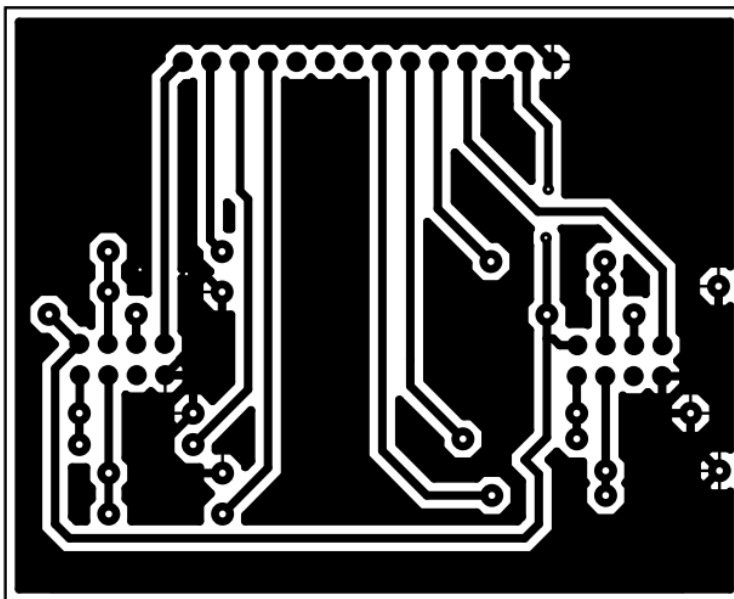


Fig. N° 10.1 Plantilla PCB para la placa de prueba 1.

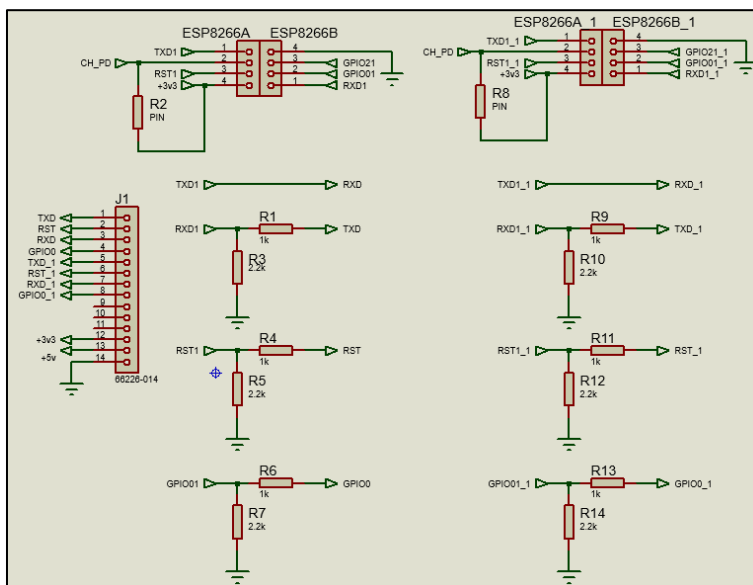


Fig. N° 10.2 Esquemático para la placa de prueba 1.

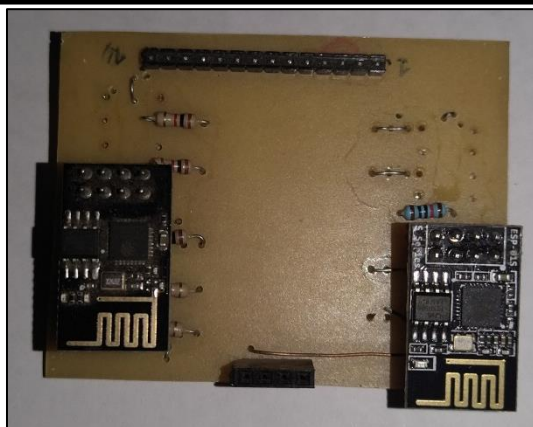


Fig. N° 10.3 Foto real de la placa de prueba 1.

Placa de prueba 2 - Fuente de alimentación, detector de cruce por cero, medidor de tensión.

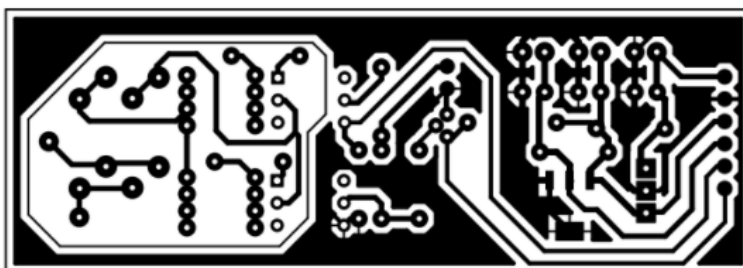


Fig. N° 10.4 Plantilla PCB para la placa de prueba 2.

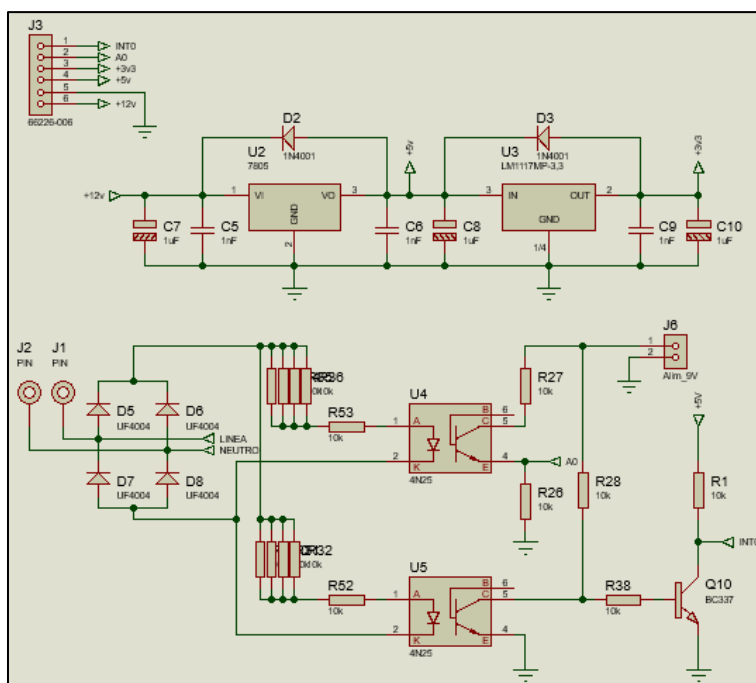


Fig. N° 10.5 Esquemático para la placa de prueba 2.

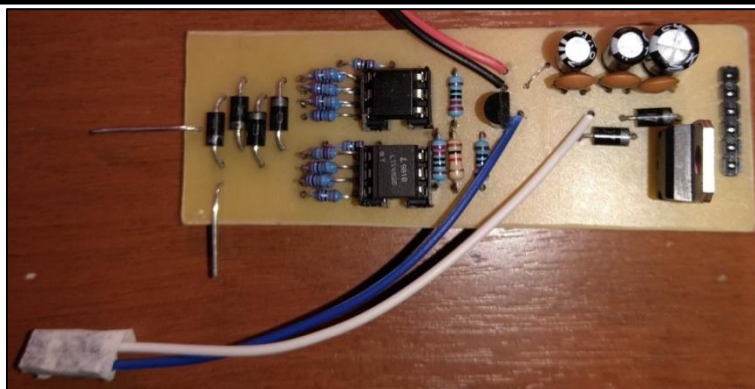


Fig. N° 10.5 Foto real de la placa de prueba 2.

Circuito de prueba - Fuente de Alimentación.

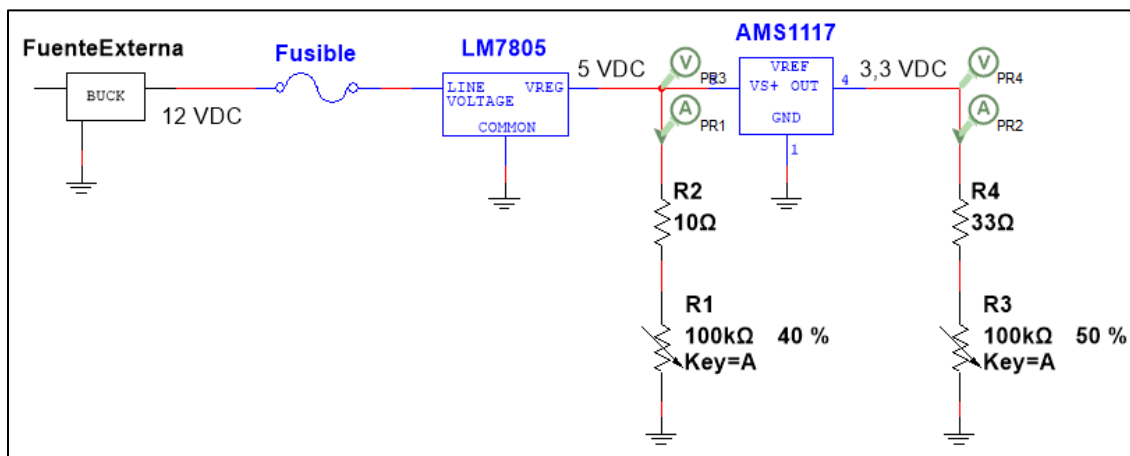


Fig. N° 10.6 Circuito de prueba, fuente de alimentación.

Circuito de prueba - Interruptor Electrónico.

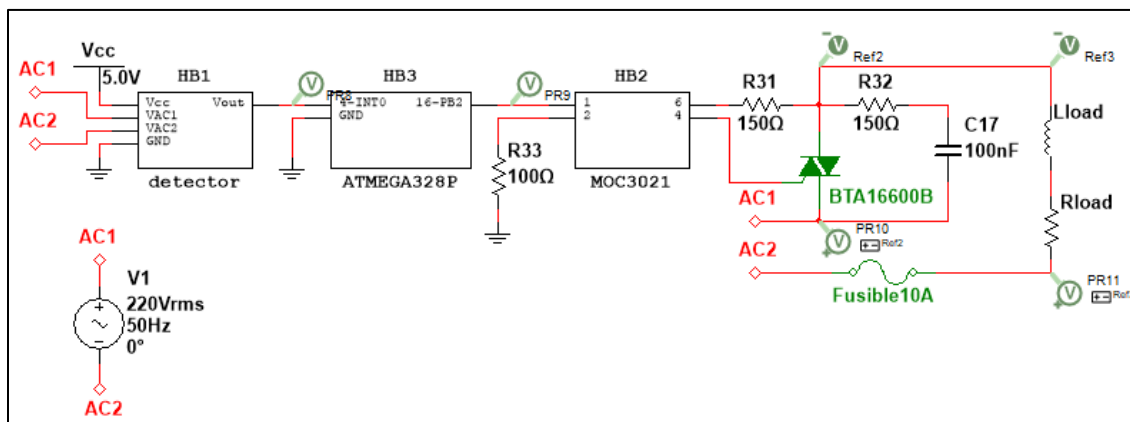


Fig. N° 10.7 Circuito de prueba, interruptor electrónico.



Circuito de prueba - Medidor de tensión.

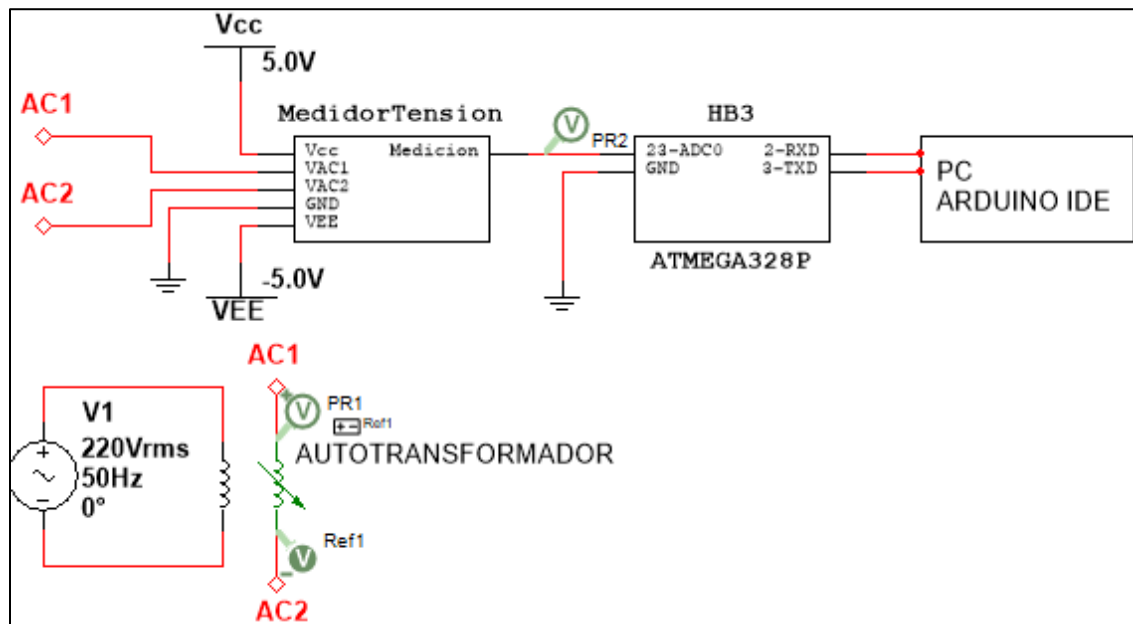


Fig. N° 10.8 Circuito de prueba, medidor de tensión.



## Anexo II

Aquí se muestran las plantillas PCB para el módulo principal y para el de interruptores o periféricos.

### Módulo Principal

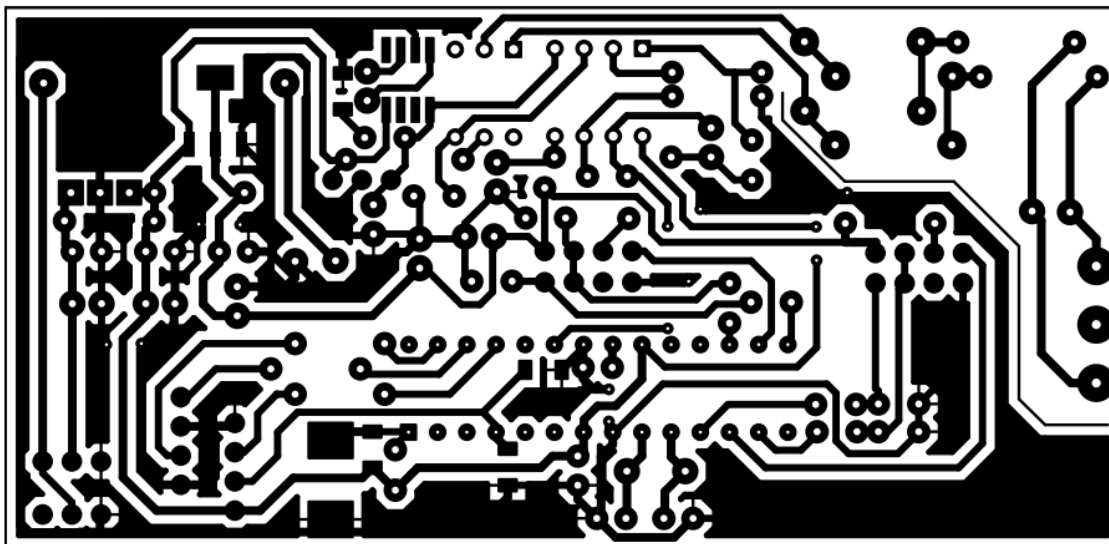


Fig. N° 11.1 Plantilla PCB para el módulo principal.

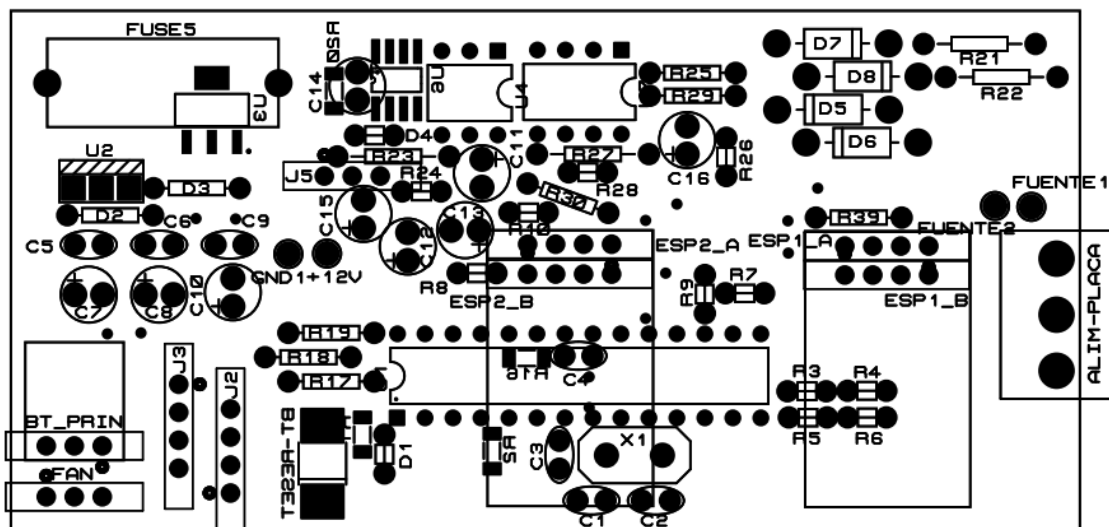


Fig. N° 11.2 Mascara de componentes para el módulo principal.



Módulo de interruptores o periféricos.

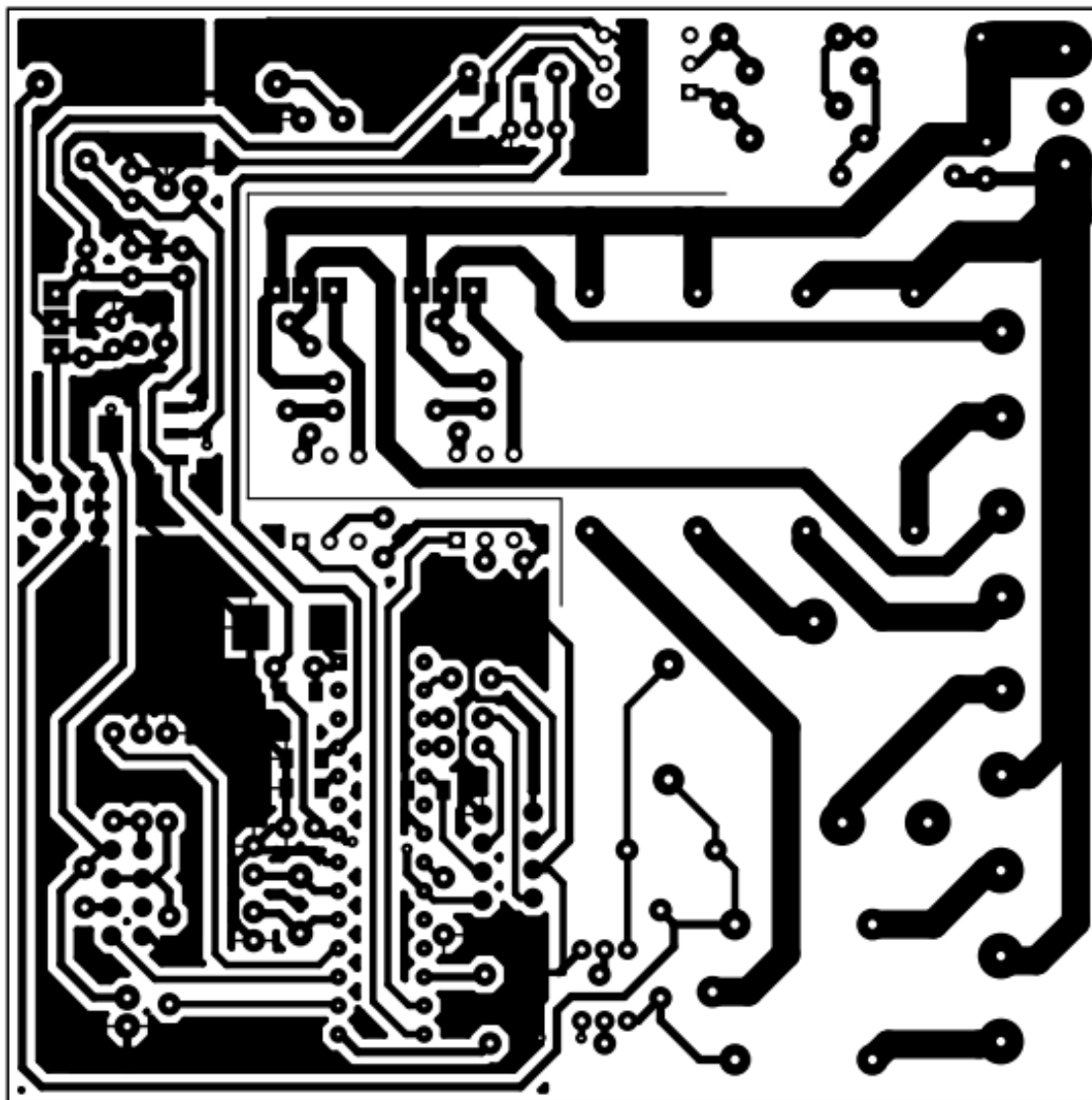


Fig. N° 11.3 Plantilla PCB para el módulo de interruptores.

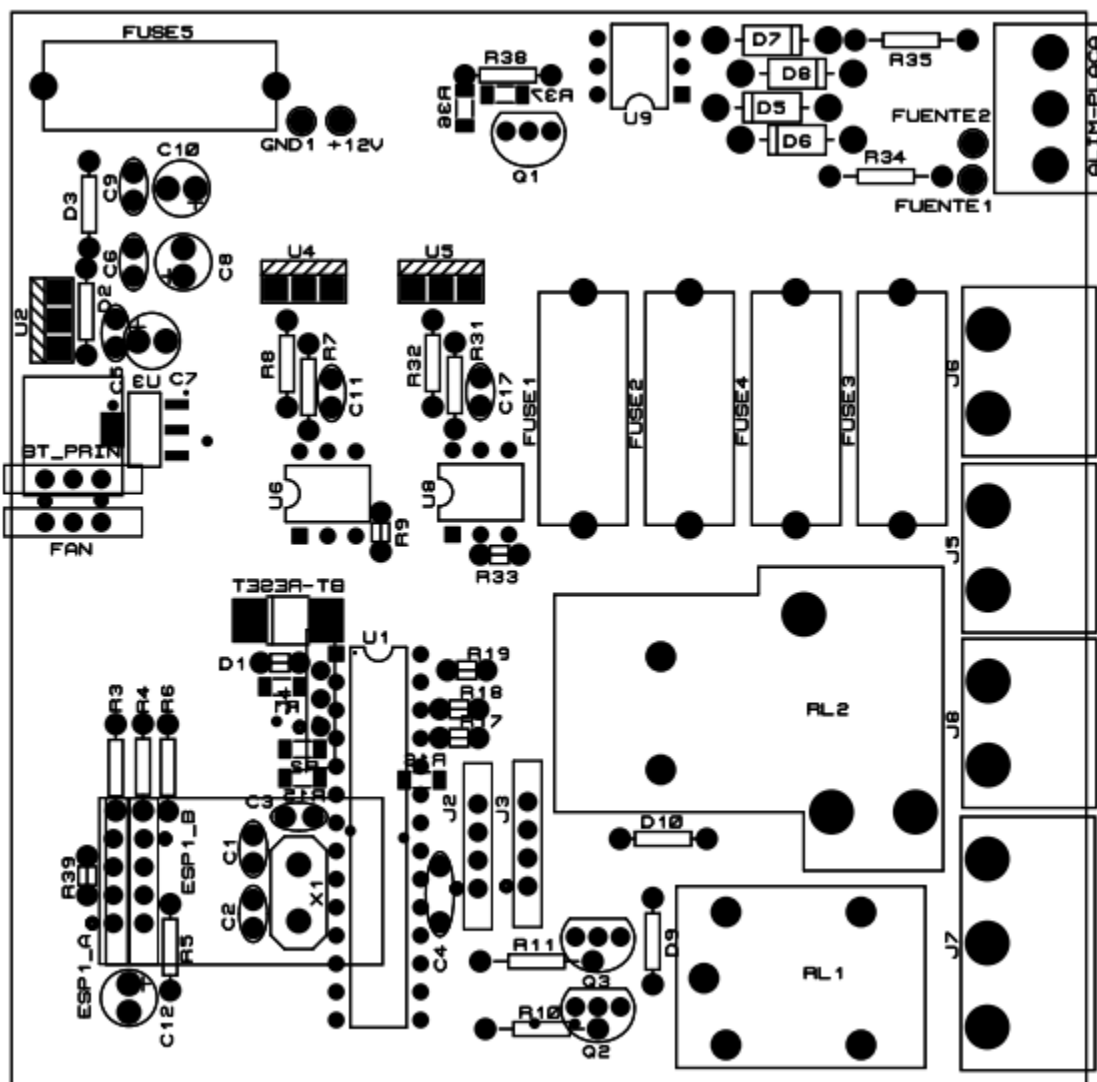


Fig. N° 11.4 Mascara de componentes para el módulo de interruptores.



## Anexo III

### Diagrama de flujo -Modulo Principal -.

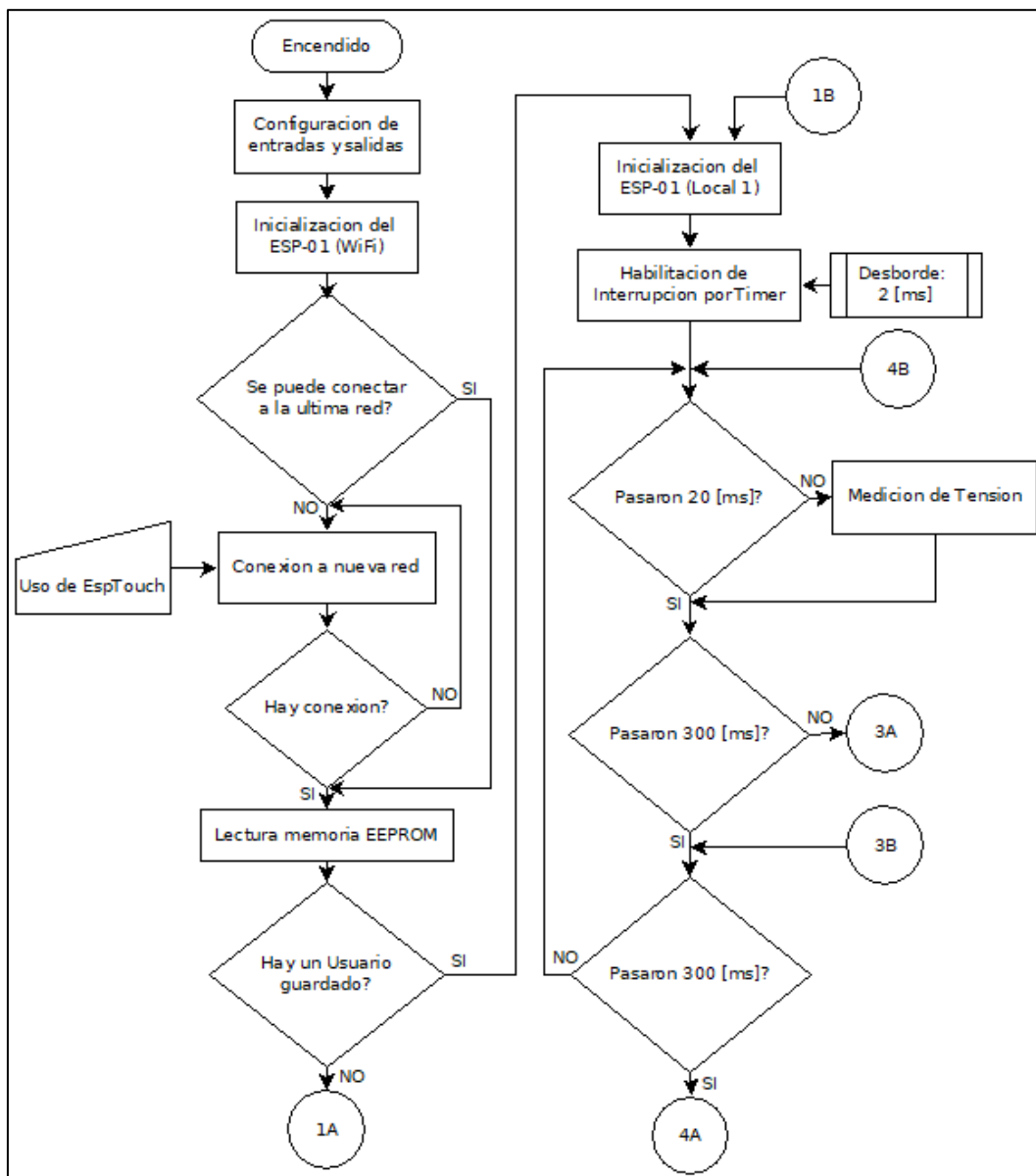


Fig. N° 12.1 Diagrama de flujo, módulo principal -parte 1-.

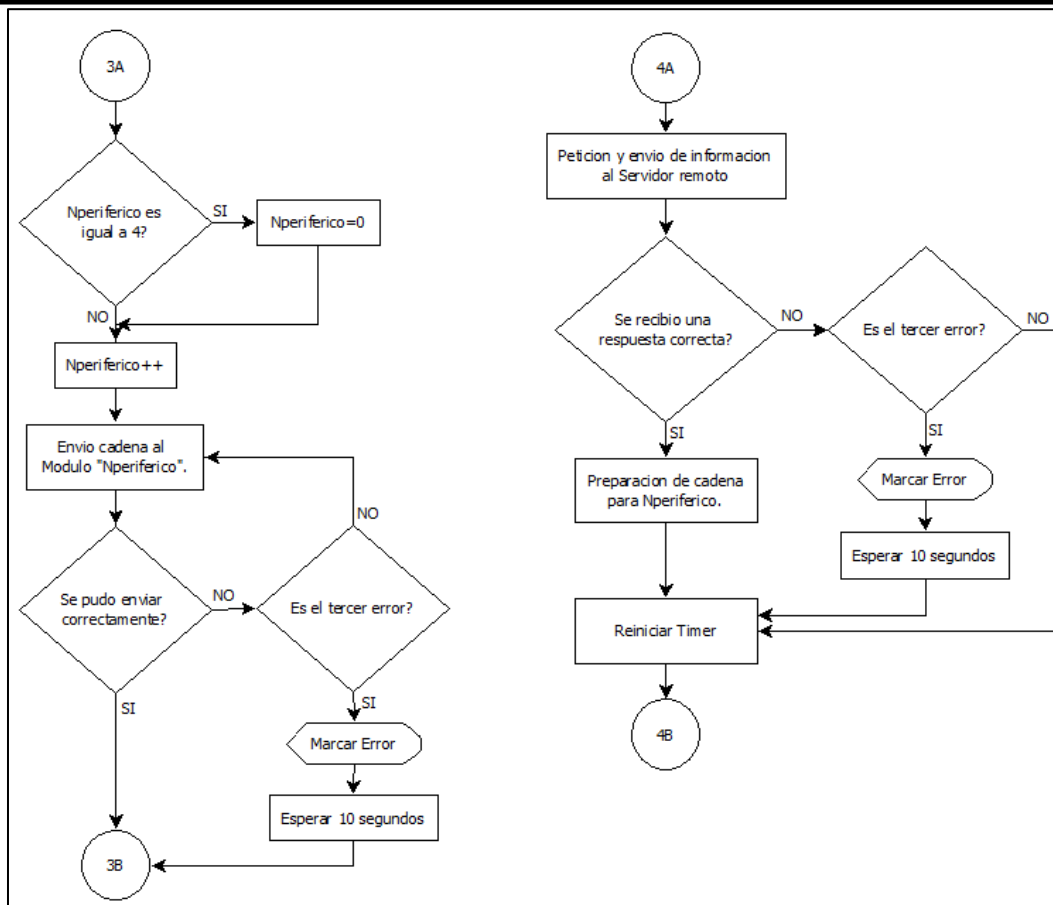


Fig. N° 12.2 Diagrama de flujo, módulo principal -parte 2-.

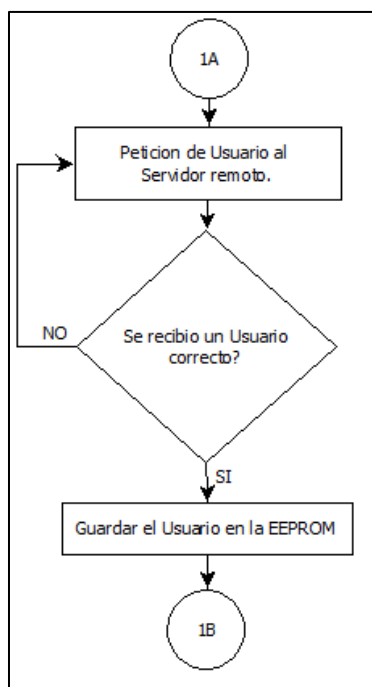


Fig. N° 12.3 Diagrama de flujo, módulo principal -parte 3-.



Diagrama de flujo -Modulo Principal -.

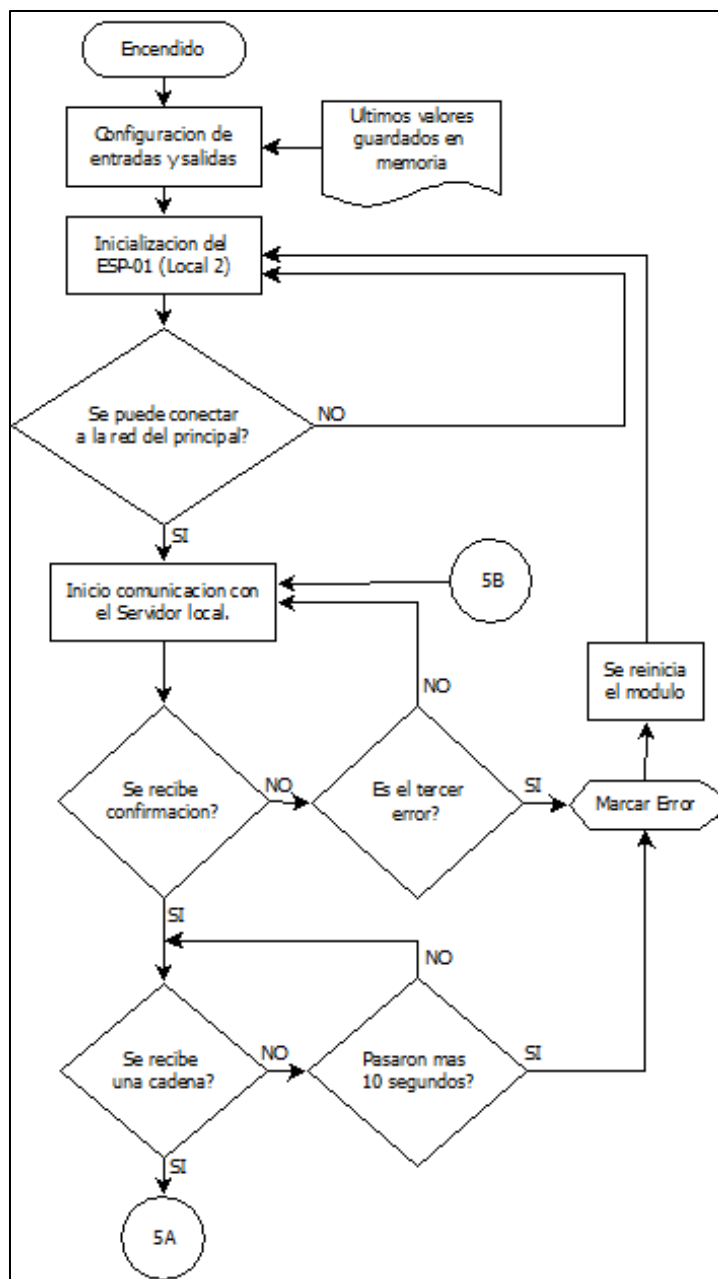


Fig. N° 12.4 Diagrama de flujo, módulo de periféricos -parte 1-.

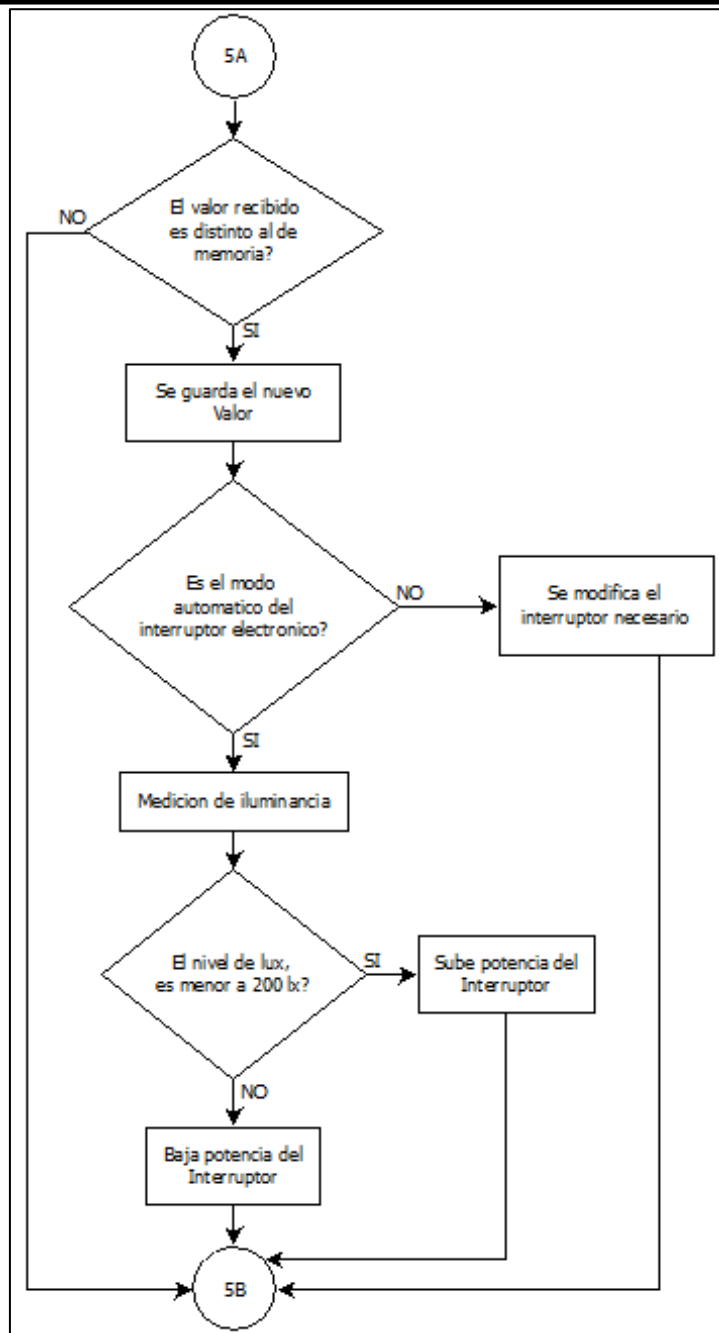


Fig. N° 12.5 Diagrama de flujo, módulo de periféricos -parte 2-.



---

## Bibliografía

- [1] Allan R. Hambley. (2001). *Electrónica*. 2a Edición.
- [2] Ned Mohan, Tore M. Undeland y William P. Robbins. (2009). *ELECTRÓNICA DE POTENCIA: Convertidores, aplicaciones y diseño*. McGRAW HILL/INTERAMERICANA Editores. 3ra edición.
- [3] Tayra G. Revelo Teran y Wladimir A. Munoz Jaramillo. (9/01/2013). *Construcción de un módulo didáctico para el control electrónico de potencia utilizando un GTO*. Tesis de grado Electrónica y Telecomunicaciones (ET). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [4] ENRE. (2017). NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO PÚBLICO Y SANCIONES PARA EL PERIODO 2017-2021. Recuperado el día 5, de mes 6, de año 2021 de [https://www.enre.gov.ar/Web/bibliotd.nsf/203df3042bad9c40032578f6004ed613/ac09d037c4af4b3e032580ba004d501b/\\$FILE/anexo%2016.pdf](https://www.enre.gov.ar/Web/bibliotd.nsf/203df3042bad9c40032578f6004ed613/ac09d037c4af4b3e032580ba004d501b/$FILE/anexo%2016.pdf).
- [5] Espressif Systems. (2019). *ESP8266 Non-OS, AT Instruction Set*. Recuperado el día 4, de mes 10, de año 2021, de [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/4a-esp8266\\_at\\_instruction\\_set\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/4a-esp8266_at_instruction_set_en.pdf).
- [6] Atmel. ATmega328P. *8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash*. Recuperado el día 4, de mes 10, de año 2021 de [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf).
- [7] Carlos A. Robello. *Arquitectura del Microcontrolador ATMEGA328 y su programación utilizando Arduino*. Recuperado el día 4, de mes 10, de año 2021 de <http://robello.com.ar/le2/arduinoplatformiovscode.pdf>.
- [8] Balau (2011). *Programming Arduino Uno in pure C. Freedom Embedded*. Recuperado el día 4, de mes 10, de año 2021 de <https://balau82.wordpress.com/2011/03/29/programming-arduino-uno-in-pure-c/>.
- [9] Stack Overflow contributors. *Aprendizaje Flask*. Recuperado el día 15, de mes 8, de año 2021 de <https://riptutorial.com/Download/flask-es.pdf>.
- [10] Mark Pilgrim. (2009). *Inmersión en Python 3*. Recuperado el día 15, de mes 8, de año 2021 de <https://argentinaenpython.com/quiero-aprender-python/inmersion-en-python-3.0.11.pdf>.