Informe final de Proyecto
Medidas Electrónicas II

Unidad de distribución de potencia inteligente para infraestructura TIC

Grupo P1G-2020

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Índice

Índice de imágenes

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Índice de Tablas

1. Descripción del proyecto

Registrador de potencia activa con control de tomas de alimentación de corriente alterna múltiple, interfaz Ethernet y programa de control y monitoreo desarrollado en Python 3.

El dispositivo a desarrollar está destinado a la monitorización y control continuo de la alimentación de CA y potencia consumida en equipos y dispositivos de una infraestructura TIC; conmutadores POE, encaminadores, Servidores y otros. Siguiendo la tendencia, el formato de la caja del dispositivo debe contenerse en dimensiones compatibles con racks de 19”, típicos de centros de datos, o en gabinetes TELCO para cableados estructurados que satisfacen las nuevas arquitecturas distribuidas compatibles con suministro de POE de nueva generación.

El dispositivo debe tener la capacidad de registrar potencia activa de manera continua con funciones de “datalogger”, curvas históricas y funciones de activar o desactivar la alimentación al dispositivo conectado. Adicionalmente, funciones de alarma por tensión de línea baja o alta, y alarma por sobrepaso de umbrales de consumo por cada toma (boca) de 220V.

2. Especificaciones del prototipo

- **Tensión nominal de entrada**: 220V
- **Potencia máxima por toma:** 100W
- **Resolución:** 500mW
- **Comunicación:** puerto ethernet RJ45 (100-1000 Mbps)
- **Software de la UI:** Basado en Python 3
- **Propuestas de desarrollo:** prototipo de una toma, concepto escalable a 5-10 bocas 220V por dispositivo múltiple
- **Panel Frontal (físico e UI):**
  - **Indicadores:** Leds de estado activo por toma, pantalla con presentación de Tensión de línea, datos de configuración de Red y estado.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

- **Controles:** pulsadores para activación manual de tomas, pulsador de autoconfiguración de red (DHCP) o configuración por defecto (IP fija inicial: Ej 192.168.100.100/24)

3. Esquema General

Las exigencias del proyecto implican distintas etapas, tecnologías y desarrollos. Con lo cual podemos dividir el mismo en un diagrama en bloques.

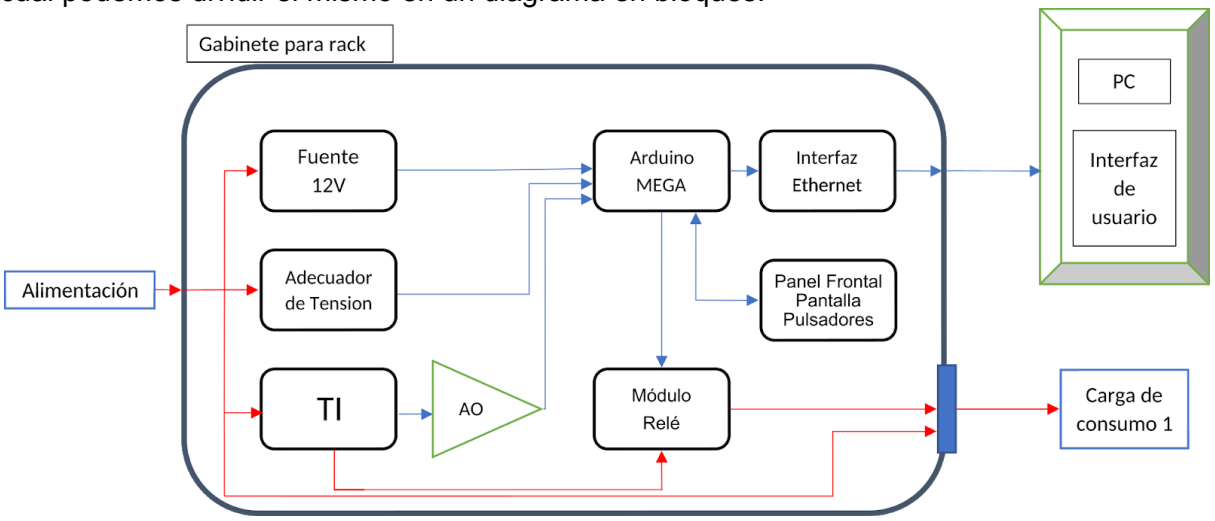

Fig.1. Diagrama en bloques

Algunos de estos aspectos ya fueron abordados previo al desarrollo de este informe y los mismos serán desarrollados a continuación.

3.1 Fuente de alimentación

Para poder incorporarlo en el gabinete estándar es posible utilizar una fuente dentro del mismo que tome tensión de la entrada de alimentación de línea. Una posible fuente es la de la figura a continuación:

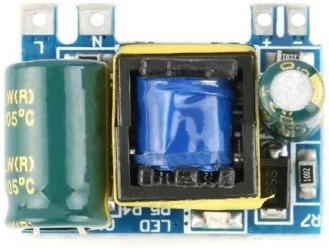

Fig.2. Fuente de alimentación

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Tensión de salida 9V
Potencia de 4W

La misma nos permitirá cubrir la demanda de corriente del Arduino y los circuitos necesarios para la adecuación de tensiones y corrientes.

Un problema que se presentó en algunas ocasiones con la fuente de alimentación elegida es que cuando se activa el relé, genera una caída de tensión en la fuente tal que reinicia el microcontrolador. Cabe aclarar que esto no sucede cada vez que se activa el relé sino que lo hace una de cada 10 veces aproximadamente. Para solucionar esto se debe usar una fuente con más capacidad de corriente y asegurarse que lo conductores sean del tamaño correcto.

3.2 Sensor de corriente

Este sensor constituye una de las partes más importante del sistema embebido. En el mercado local se ofrecen de varios rangos y tecnologías, siendo el rango más chico disponible de 0 a 5A.

Si consideramos que la tensión eficaz de red puede variar entre 198 a 242 V (±10% de la tensión nominal de 220 V), el cambio de corriente mínima que deberá ser capaz de detectar el sensor, para tener una resolución de 500 mW, es

$$I = \frac{P}{V} = \frac{500\,mW}{242\,V} \simeq 2\,mA$$

Además, teniendo en cuenta la potencia máxima por boca de 100 W, la corriente máxima será de aproximadamente 500mA. Es decir, que estaremos trabajando en la primera décima parte del rango del sensor. Para evitar esto, se optara por una solución propuesta por algunos fabricantes: en vez de simplemente pasar el conductor por el toroide del TI, se realizan varias vueltas y de esta manera se modifica la relación de transformación.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Fig.3. Sensor de corriente. TI

Por lo comentado anteriormente, es que se elige como sensor de corriente el TI SCT-013-005, el cual presenta un rango de 0 a 5 A, y entrega una tensión de 0 a 1 V gracias a una resistencia interna. Además al trabajar con transformación de corriente y no con efecto hall, esto nos provee aislación galvánica.

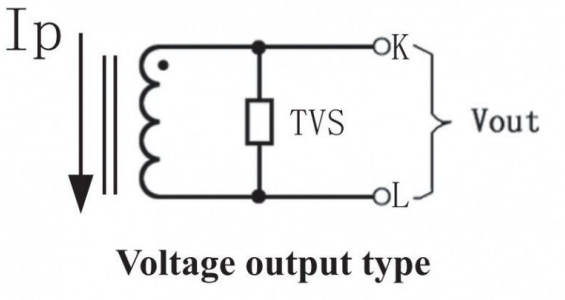

Fig.4. Sensor SCT-013-005

Para aprovechar los 10 bits de resolución que provee el ADC del microcontrolador elegido (especificado más adelante), debemos elevar la tensión y agregar un offset tal como se muestra a continuación:

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

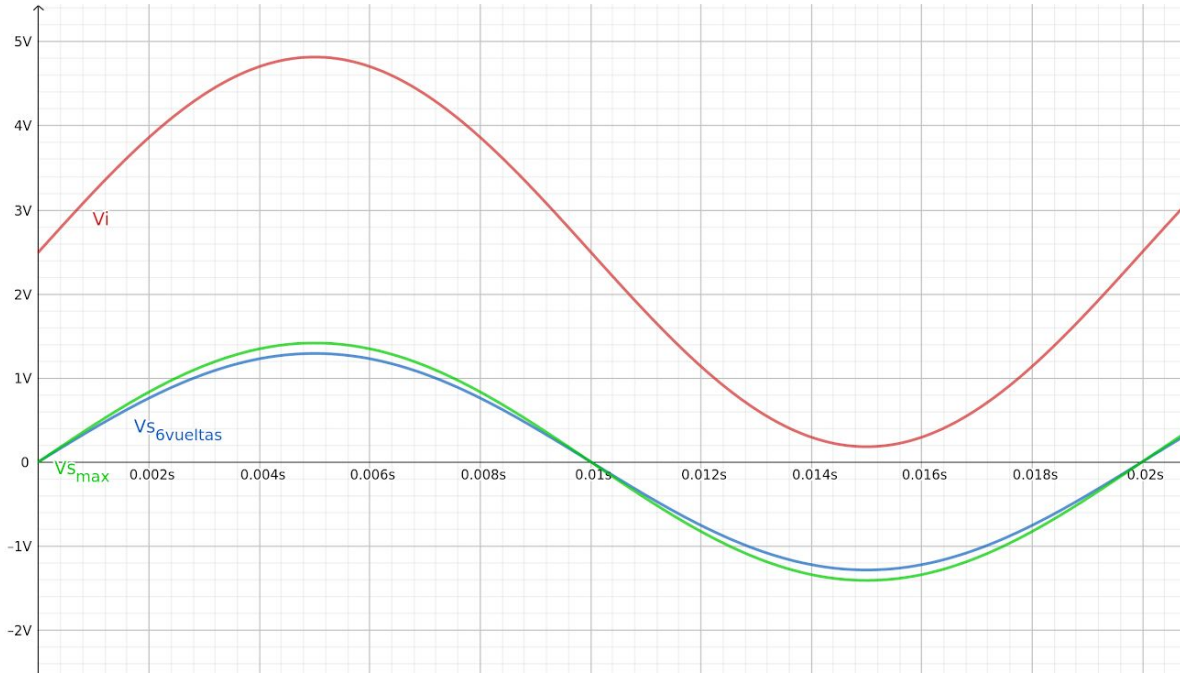

Fig.5 Tensión ADC - Sensor de corriente

La señal verde representa la tensión que nos entrega el sensor cuando en su primario, de una sola vuelta, circulan 5A. Según los requerimientos del proyecto, la potencia máxima de salida por toma es de 100W. Para dejar un margen de seguridad que pueda ser sensado y activar alguna alarma, se considera una potencia máxima de 150W, la cual produce una corriente máxima cuando la tensión es mínima (198V). Esta corriente máxima es 0.76A.

Cuando por el primario circulen 0.76A en el secundario tendremos una tensión de 215 mVp. Lo ideal es que esa tensión máxima ocupe el rango completo del sensor, es decir, 1V (o 1.414 Vp), para esto lograr esto podemos modificar la relación de transformación aumentando la cantidad de vueltas del primario a 6 (1.414 / 0.215 = 6.57 → 6 vueltas). Esto lo podemos observar en la gráfica azul.

Para agregar el offset de 2.5V y amplificar la señal para que termine de ocupar todo el rango se diseñó un amplificador en base un LM358. El mismo fue simulado en LTspice y posteriormente se llevó a la plaqueta.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

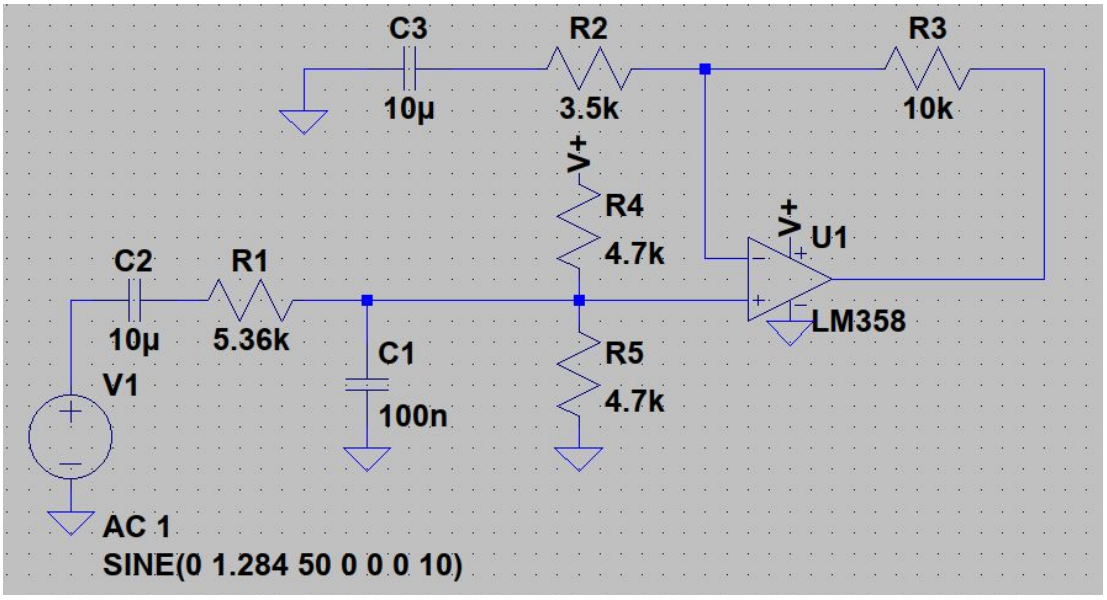

Fig. 6 Amplificador basado en LM358

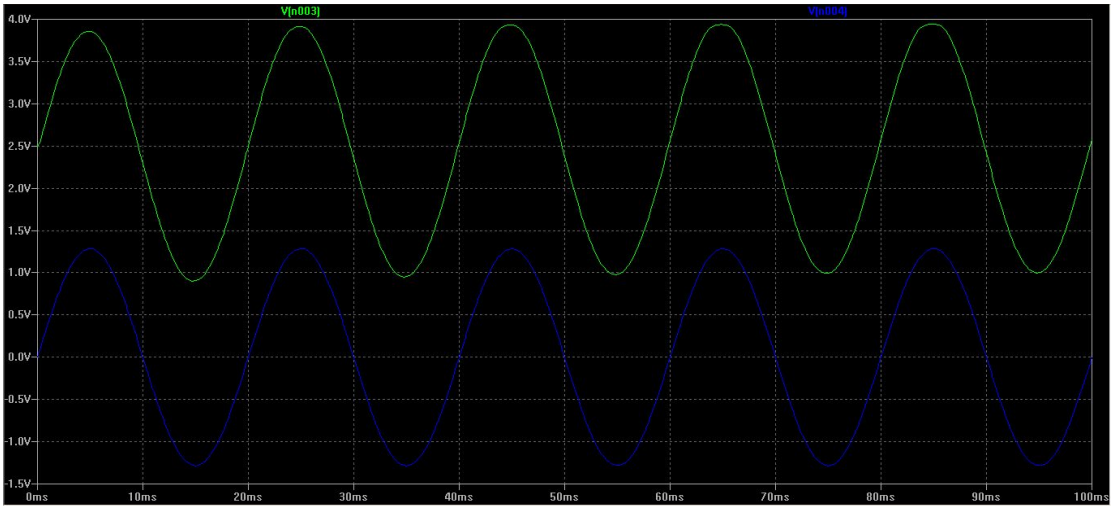

Fig. 7 Tensión de entrada (azúl) y salida (verde) del amplificador

El conjunto R1 y C1 conforman un filtro antialiasing de 1er orden con frecuencia de corte en aproximadamente 300 Hz para poder sensar los armónicos en el caso de cargas no lineales.

R4 y R5 agregan un offset igual a la mitad de la tensión de la fuente de 5V provista por el Arduino. Si bien esta no es la mejor opción, debido a que cualquier variación de la misma produce una variación en el offset, es la más simple y económica. Una mejor alternativa es colocar una referencia de tensión de 2.5V como el LM4140.

R3 y R2 proveen la ganancia. En el circuito montado, en lugar de R2 se colocó un reóstato multivuelta para poder ajustar la ganancia a gusto.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Cabe aclarar que si bien lo ideal es que la señal ocupe todo el rango de los 0 a los 5 V, esto en la práctica no es posible a menos que se use una fuente partida, ya que la tensión entregada por el amplificador operacional antes de llegar a estos valores se corta o se satura generando distorsión. Debido a esto es deseable que la ganancia sea ajustable.

En la figura Nº 8 vemos la corriente de una carga resistiva pura (soldador de estaño) en dominio del tiempo y en la figura Nº 9 vemos la FFT de la misma.

La señal roja es la tensión a la salida del sensor y la amarilla es la señal a la salida del amplificador que ataca al ADC del Arduino.

La FFT se realiza sobre la señal a muestrear por lo que presenta un nivel de continua, representado por el primer bastón de la izquierda. Luego podemos observar que prácticamente toda la energía corresponde a la fundamental (50 Hz, segundo bastón). La escala se encuentra en dB.

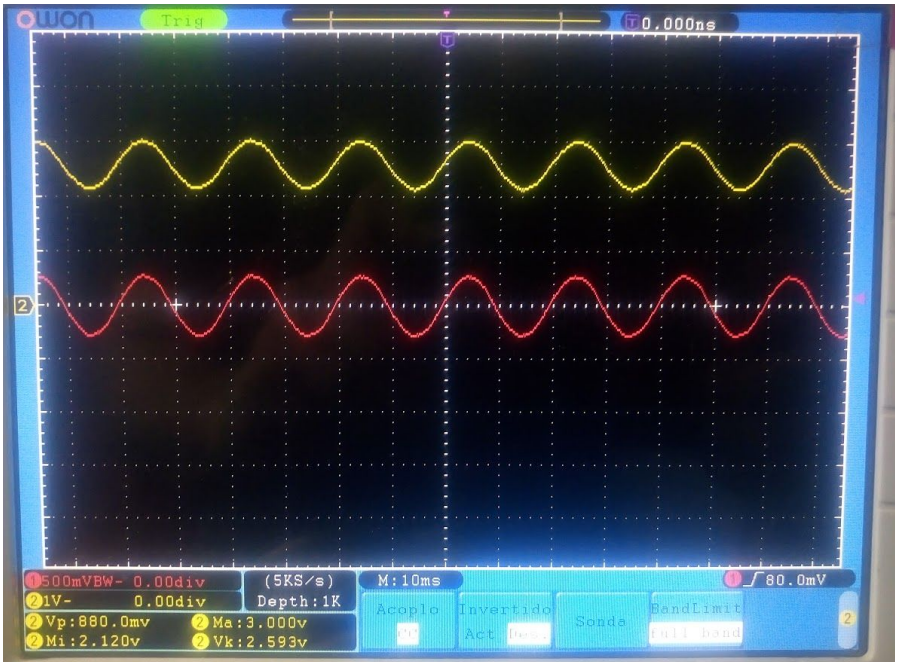

Fig. 8 Corriente de una carga resistiva pura (soldador de estaño)

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

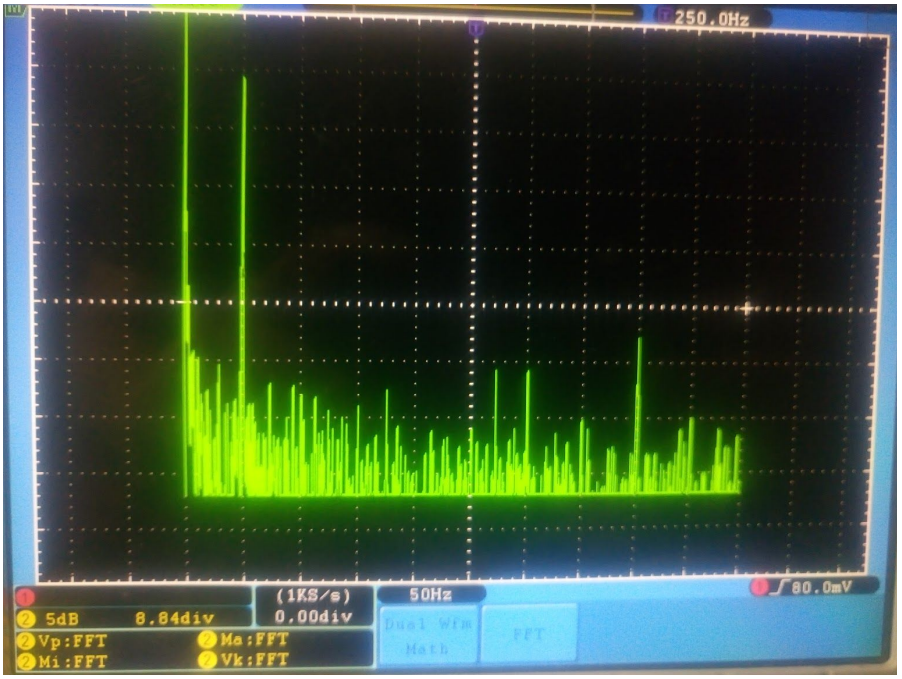

Fig. 9 FFT de corriente de una carga resistiva pura (soldador de estaño).

En las siguientes figuras podemos ver cómo se comporta la corriente en una fuente switching de una plancha para el pelo de aproximadamente 40 W. En la respuesta frecuencia especialmente, se ve que presenta una componente armónica de 3er orden importante.

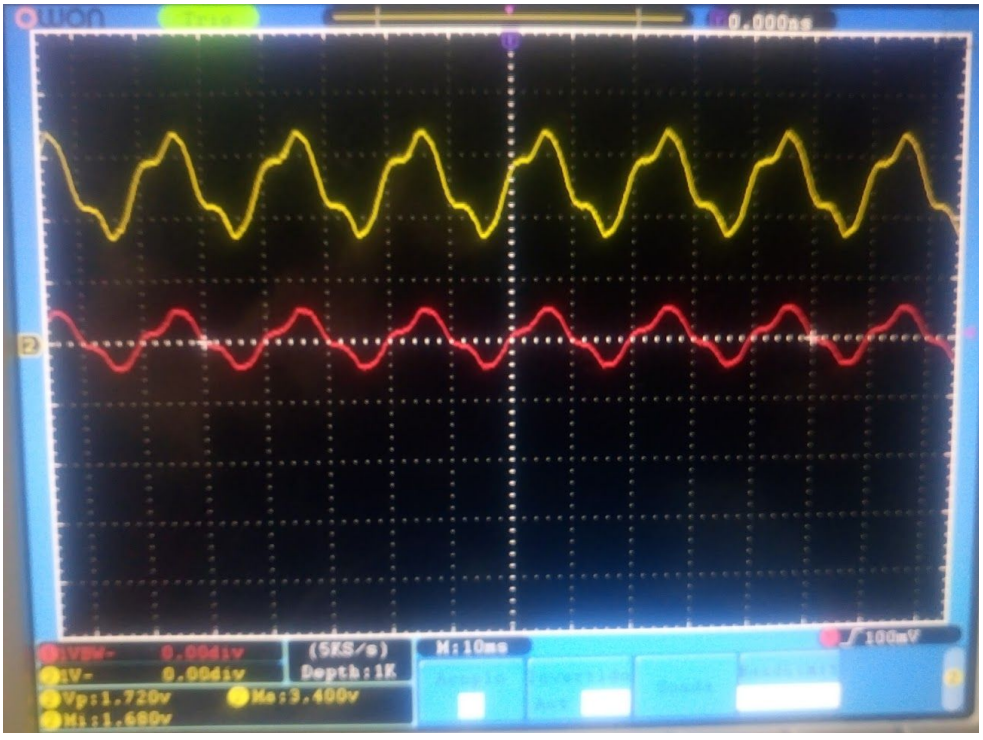

Fig. 10 Corriente de una fuente switching (plancha para pelo)

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Fig. 11 FFT de corriente de una fuente switching (plancha para pelo)

3.3 Sensor de tensión

Para el sensado de la tensión de línea se optó por el módulo ZMPT101B el cual tiene una amplio rango de tensión de entrada hasta 1000V, entregando los valores necesarios de salida para la entrada del Arduino. Este módulo hace uso de un pequeño transformador de tensión, lo que nos asegura la aislación galvánica con el microcontrolador. Además provee una salida pasiva, y otra activa que nos permite montar la señal senoidal sobre un offset y así poder trabajar con ambos semiciclos de la señal senoidal.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

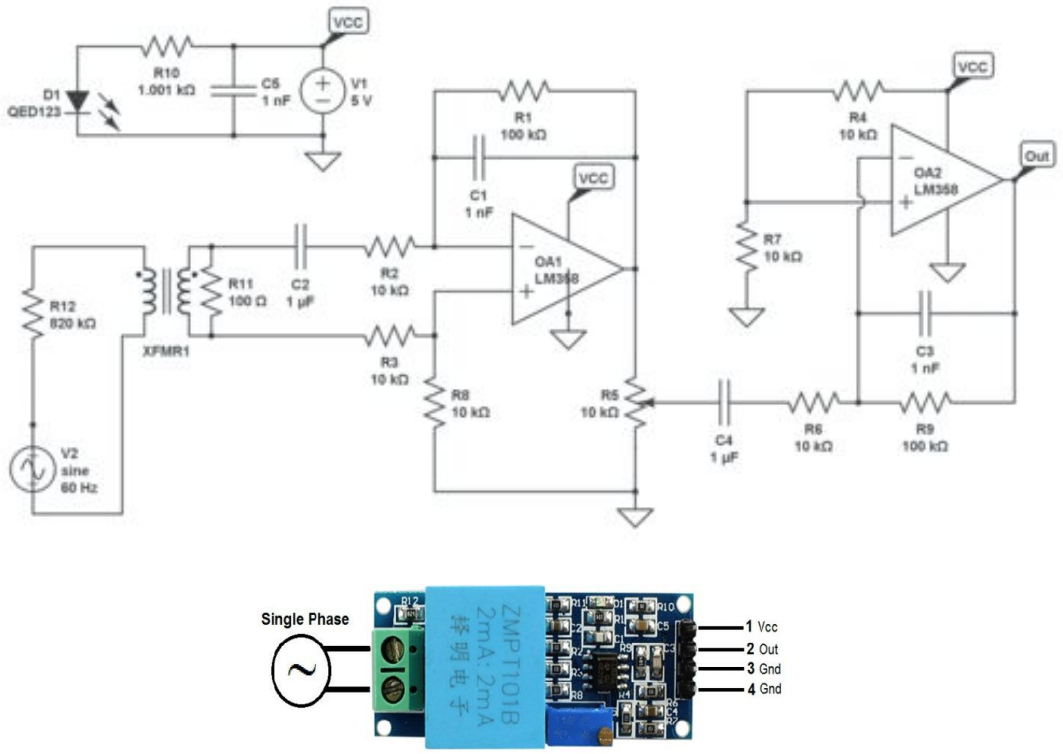

Fig. 12 Sensor de tensión.

3.4 Interfaz Ethernet

Para comunicar el Arduino con la PC, se utilizará un módulo con interfaz SPI que se basa en el circuito integrado de Microchip ENC28J60.

Se muestra a continuación:

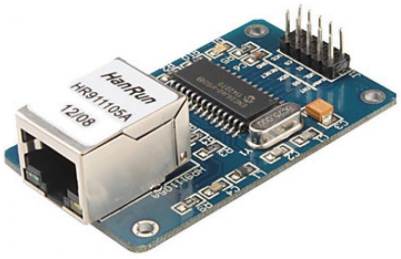

Fig. 13 Microchip ENC28J60. Módulo Ethernet

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

El mismo cuenta con las siguientes características:

Ethernet Controller Features

- IEEE 802.3™ Compatible Ethernet Controller
- Fully Compatible with 10/100/1000Base-T Networks
- Integrated MAC and 10Base-T PHY
- Supports One 10Base-T Port with Automatic Polarity Detection and Correction
- Supports Full and Half-Duplex modes
- Programmable Automatic Retransmit on Collision
- Programmable Padding and CRC Generation
- Programmable Automatic Rejection of Erroneous Packets
- SPI Interface with Clock Speeds Up to 20 MHz

Medium Access Controller (MAC) Features

- Supports Unicast, Multicast and Broadcast Packets
- Programmable Receive Packet Filtering and Wake-up Host on Logical AND or OR of the Following:
  - Unicast destination address
  - Multicast address
  - Broadcast address
  - Magic Packet™
  - Group destination addresses as defined by 64-bit Hash Table
  - Programmable Pattern Matching of up to 64 bytes at user-defined offset

Operational

- Six Interrupt Sources and One Interrupt Output Pin
- 25 MHz Clock Input Requirement
- Clock Out Pin with Programmable Prescaler
- Operating Voltage of 3.1V to 3.6V (3.3V typical)
- 5V Tolerant Inputs
- Temperature Range: -40°C to +85°C Industrial, 0°C to +70°C Commercial (SSOP only)
- 28-Pin SPDIP, SSOP, SOIC, QFN Packages

Buffer

- 8-Kbyte Transmit/Receive Packet Dual Port SRAM
- Configurable Transmit/Receive Buffer Size
- Hardware Managed Circular Receive FIFO
- Byte-Wide Random and Sequential Access with Auto-Increment
- Internal DMA for Fast Data Movement
- Hardware Assisted Checksum Calculation for Various Network Protocols

Physical Layer (PHY) Features

- Loopback mode
- Two Programmable LED Outputs for LINK, TX, RX, Collision and Full/Half-Duplex Status

Fig. 14 Características ENC28J6

A continuación se muestran imágenes de ensayos realizados con dicho módulo, configurando al Arduino como servidor con dirección IP 192.168.1.99.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

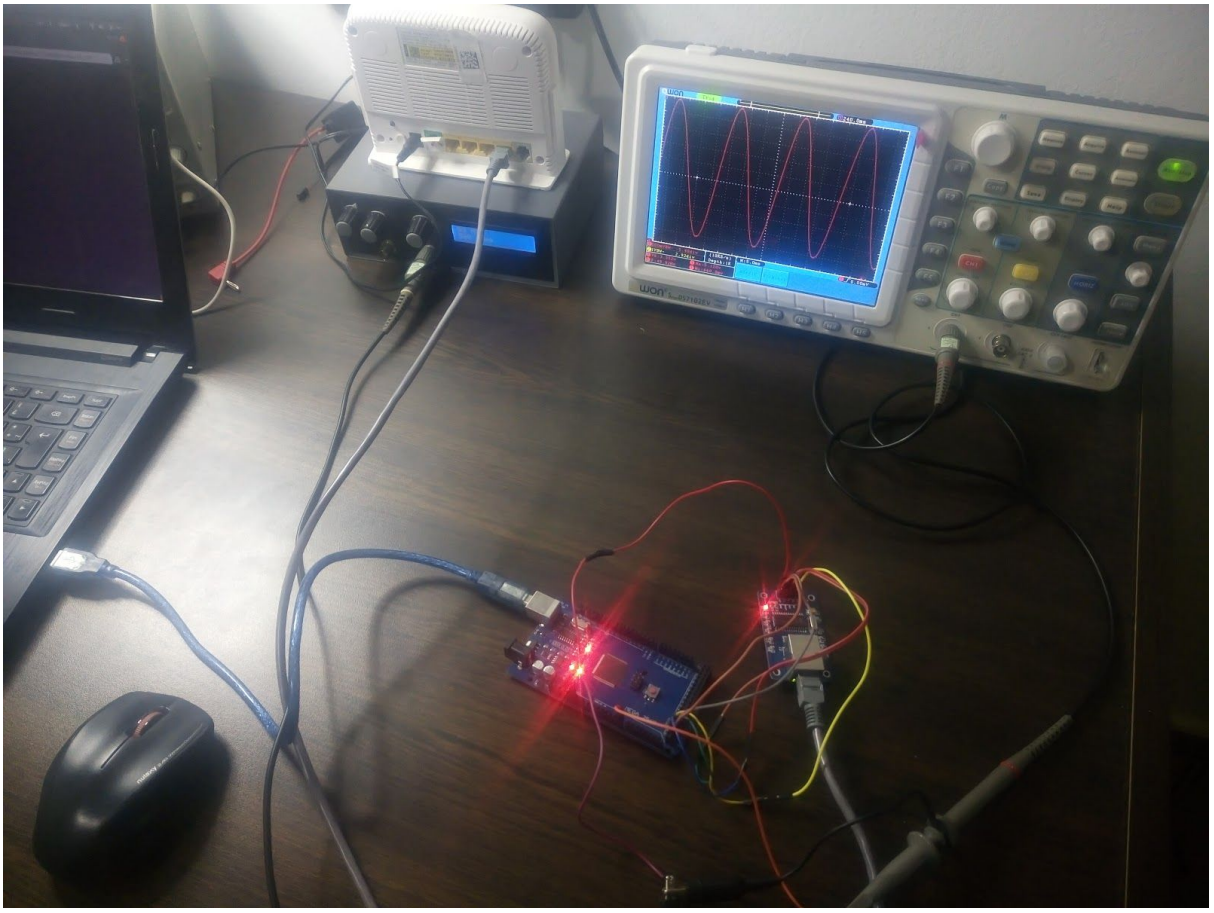

Fig 15 Montaje ENC28J60

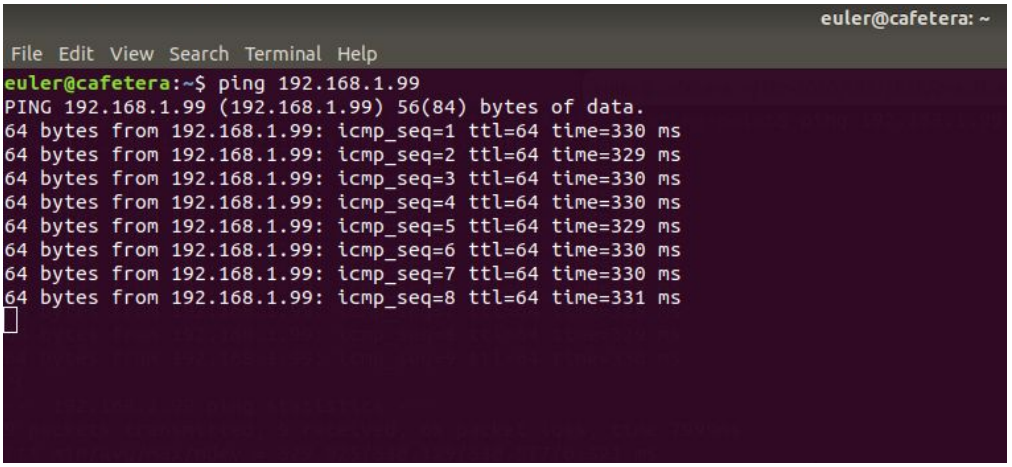

Fig. 16 Ping al servidor

Fig. 17 Acceso al servidor desde un browser

3.5 Módulo Relé

Para conectar y desconectar la carga se utilizará un módulo relé con aislación galvánica a través de optoacopladores como se muestra a continuación:

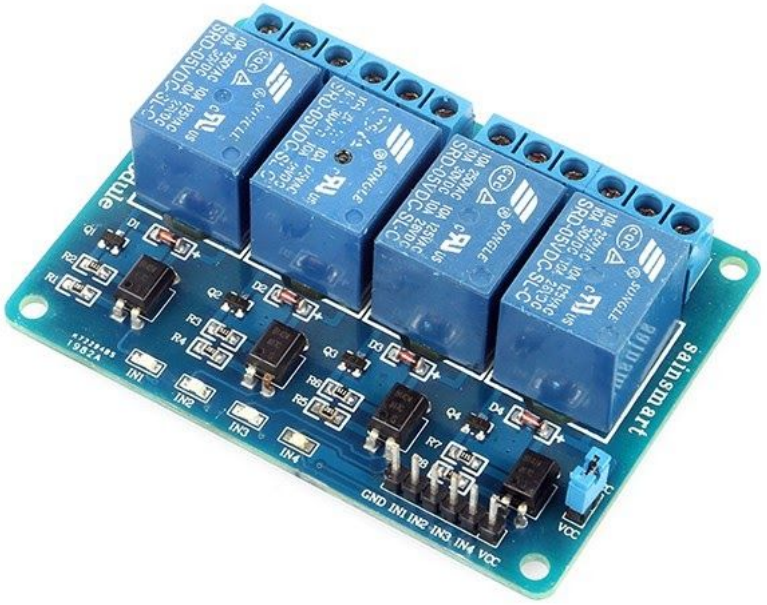

Fig. 18 Módulo Relé.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

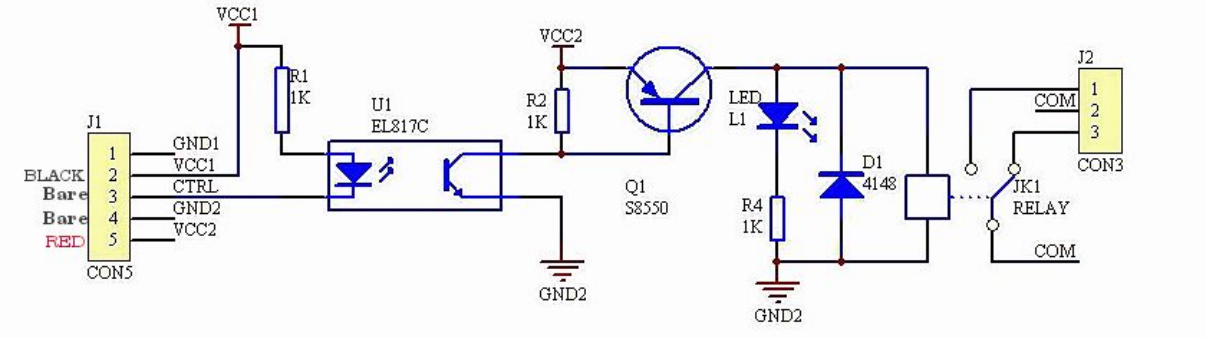

Fig. 19 Esquemático módulo relé de canal único

La mayor protección frente a cualquier problema con el relé se consigue alimentando con una fuente VCC1 (el microcontrolador) la parte del LED del optoacoplador y con otra fuente diferente VCC2 el circuito de activación. Si bien el módulo provee de jumper para hacer esta distinción, en este caso se utilizó la misma fuente.

3.6 Microcontrolador

Para cumplir con las especificaciones del sistema embebido se eligió como microcontrolador un ATMega2560, que presenta las siguientes características.

Features

- High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 × 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
  - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
  - 4Kbytes EEPROM
  - 8Kbytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles:10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85ºC/ 100 years at 25ºC
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
    - Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- QTouch® library support
  - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
  - QTouch and QMatrix acquisition
  - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE® std. 1149.1 compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four 8-bit PWM Channels
  - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Output Compare Modulator
  - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change

MICROCHIP

- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
  - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
  - RoHS/Fully Green
- Temperature Range:
  - -40ºC to 85ºC Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
  - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
  - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- Speed Grade:
  - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
    - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
  - ATmega2560V/ATmega2561V:
    - 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
  - ATmega640/ATmega1280/ATmega1281:
    - 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V
  - ATmega2560/ATmega2561:
    - 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V

Fig. 20 Características microcontrolador ATMega2560

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Destacamos que posee un ADC de 16 canales y 10 bits de resolución. Teniendo en cuenta que necesitamos de un canal por tomacorriente instalado para sensar la corriente y uno general para la tensión, podemos instalar hasta 15 tomacorrientes. Por supuesto se debe tener en cuenta que cuanto mayor sea la cantidad de bocas mayor será el procesamiento. Más adelante en este informe se estima a cuantas bocas máximas se puede escalar el proyecto con los métodos de cálculo empleados y qué se debería modificar para lograr aún más conexiones.

Al tener 10 bits para cuantizar la señal muestreada, y teniendo en cuenta que se ha supuesto que puede haber una tensión máxima del 10% mayor a la nominal, tendremos una resolución de

$$V_{ef} = 220\ V$$
$$V_{p} = V_{ef} * \sqrt{2} = 311\ V$$
$$V_{pp} = 622\ V$$
$$V_{ppmax} = 622\ V * 1.1 = 684.2\ V$$

$$resolución = V_{ppmax} / 1024 = 0.668\ V$$

4. Cálculo del valor eficaz

Para obtener la potencia activa consumida por la carga, necesitamos medir tanto la tensión como la corriente eficaz.

Por medio de los circuitos acondicionadores de tensión y corriente, tendremos a la entrada del conversor analógico digital, por cada carga, una señal senoidal proporcional a la tensión de red y una señal senoidal proporcional a la corriente, ambas de 50 Hz. En el caso de la corriente, es donde más se evidencian los armónicos generados por cargas no lineales como fuentes switching. Como la PDU es especialmente usada en centros de datos donde las cargas en su mayoría son no lineales, se debe prestar especial cuidado a los armónicos.

El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon nos indica que debemos muestrear con una frecuencia mayor al doble de la frecuencia máxima. Los armónicos de corriente de mayor peso e interés son el 3ro, el 5to y el 7mo en menor medida, 150, 250 y 350 Hz respectivamente. Si queremos sensar el 5to armónico, debemos muestrear a una velocidad de al menos 500 S/s.

Una vez obtenidas las muestras a una velocidad adecuada debemos obtener el verdadero valor eficaz calculando la raíz cuadrada de la suma de cada muestra al cuadrado, dividida por la cantidad de muestras.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

$$F_{true\_rms} = \sqrt{\frac{\sum_{N} X_i^2}{N}}$$

Este algoritmo fue primero implementado en Matlab y luego llevado al Arduino. Luego de varias pruebas con diferentes valores de distorsión se fijó la frecuencia de muestreo en 500 S/s. A continuación se muestran los resultados en Matlab y los obtenidos con el microcontrolador.

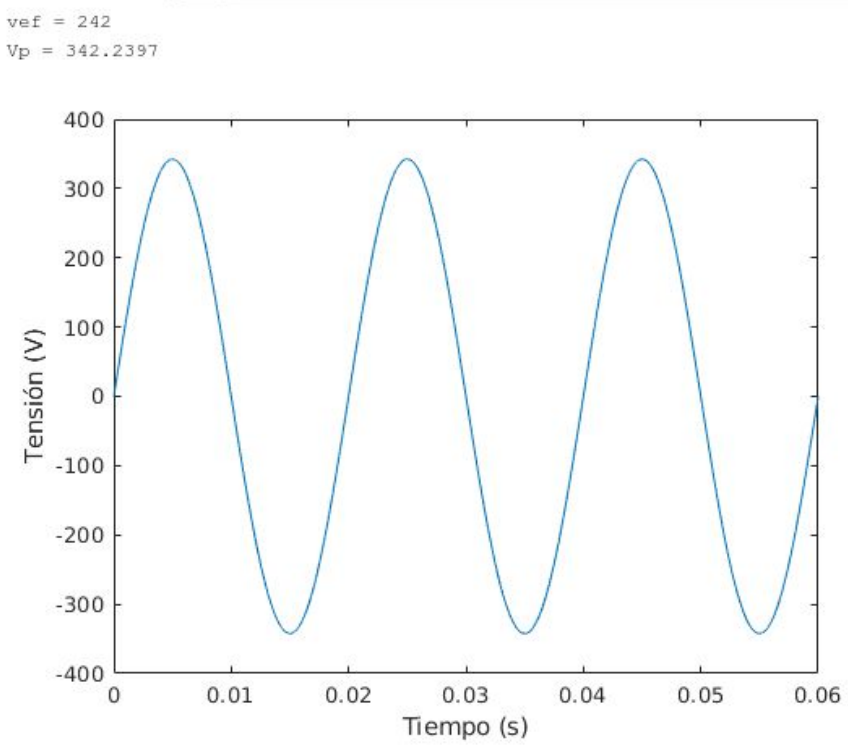

Fig. 21 Tensión de red

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

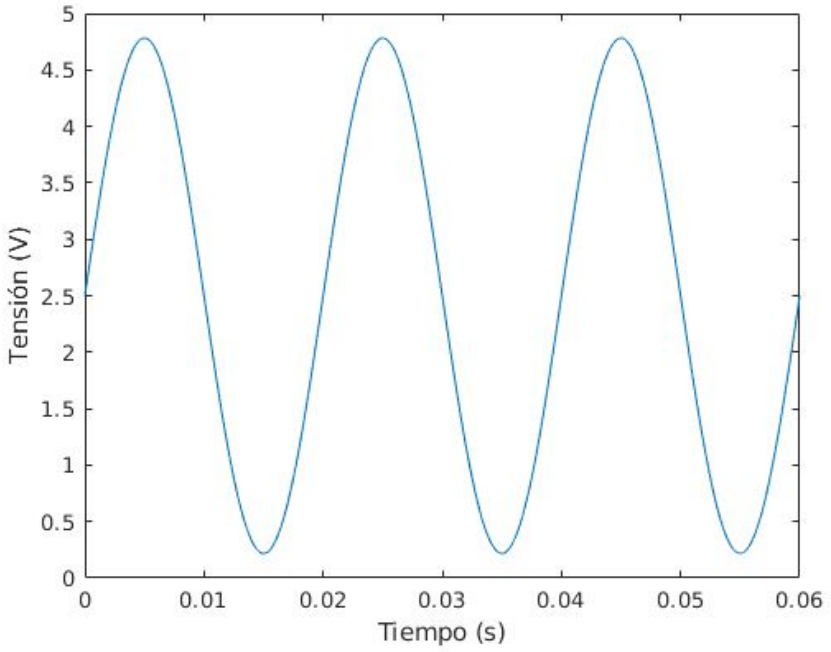

Fig. 22 Tensión entrada ADC

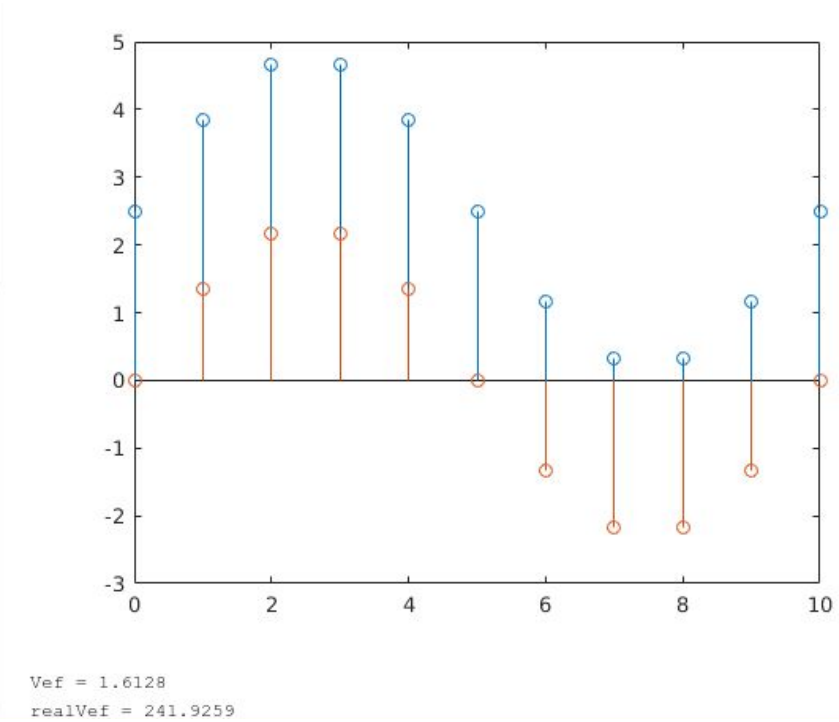

Fig. 23 Señal digitalizada. Tensión muestreada (azul), sin offset (anaranjada) y cálculo del Vef

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Vemos que con 10 muestras por ciclo, obtenemos una tensión eficaz de 241.9259 V y como el valor verdadero seteado fue de 242 V, obtenemos un error absoluto muy bajo. En la Tabla 1, se muestran otros valores teóricos obtenidos.

Tensión eficaz verdadera (V)	Tensión eficaz medida (V)
242	241.9259
198	198.2258
220	220.0759

Tabla1 Medición tensión eficaz teórica

El mismo algoritmo se llevó a Arduino. Como señal senoidal, en un principio, se utilizó un generador de señales, ya que en ese momento no disponíamos de ninguno de los sensores.

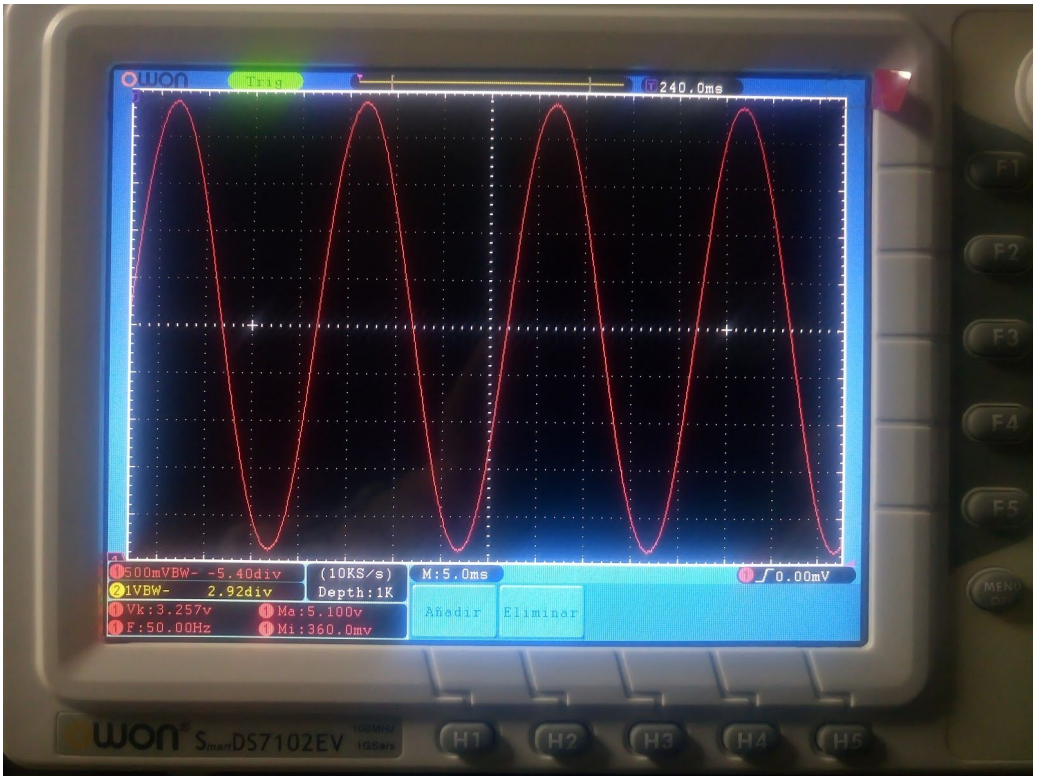

Fig. 24 Señal generador de señales. Vef = 3.352 V

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

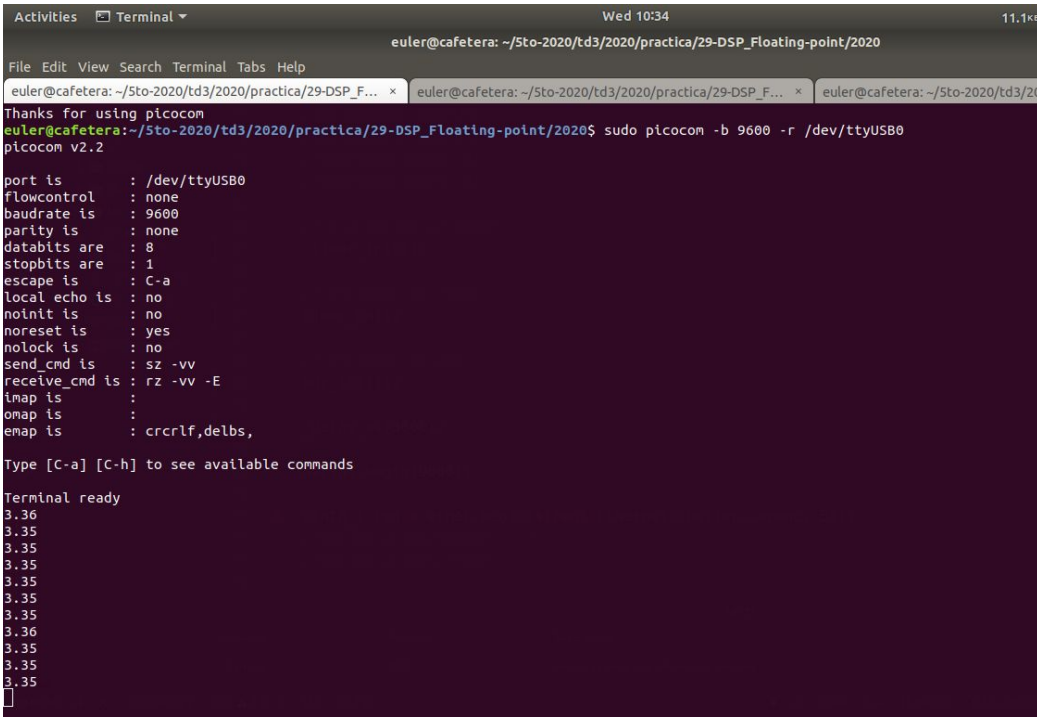

Fig. 25 Tensión eficaz medida con Arduino. Vef = 3.36 V

Tomando como verdadero valor eficaz el medido con el osciloscopio, tenemos un error relativo porcentual de

$$er\% = \left|\frac{3.352\ V - 3.36\ V}{3.352\ V}\right| * 100 = 0.24\ \%$$

En las siguiente tabla vemos la comparación de los valores eficaces de tensión y corriente calculados por el osciloscopio Owon SDS7102EV, y los calculados por el Arduino.

	Tensión Eficaz (mV)	**Tensión proporcional a la Ief (mV)**
Osciloscopio	798.5	317.6
Arduino	796	298
Error er%	0.3	6.17

Tabla2 Comparación de valores calculados con osciloscopio y con Arduino

El mayor error lo tenemos en la corriente debido principalmente a la baja velocidad de muestreo. Si bien la frecuencia es suficiente para que no se produzca aliasing debido a los armónicos, esta debería ser aún más alta para muestrear con más detalle las componentes armónicas más altas. Considerando que el osciloscopio, para la base de tiempo elegida (5 ms/div) toma muestras a una frecuencia de 1 MS/s, mientras que el Arduino lo hace a 0.5 KS/s, el error es más que aceptable.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

5. Diseño CAD

Teniendo en cuenta los requisitos solicitados, además de la cantidad y dimensiones de los módulos y componentes a utilizar, se procedió a diseñar el módulo que irá montado en un rack de 19”.

El mismo consta de un gabinete ventilado donde se colocarán los elementos seleccionados, y de un panel frontal mediante el cual se tendrá acceso tanto al display, como a los indicadores y controles físicos del dispositivo.

Para el desarrollo de este prototipo se incluyó una única toma, pero se tuvo en consideración la posibilidad de que pueda ser escalado en un futuro.

El diseño fue realizado a escala ya que será construido en una impresora 3D.

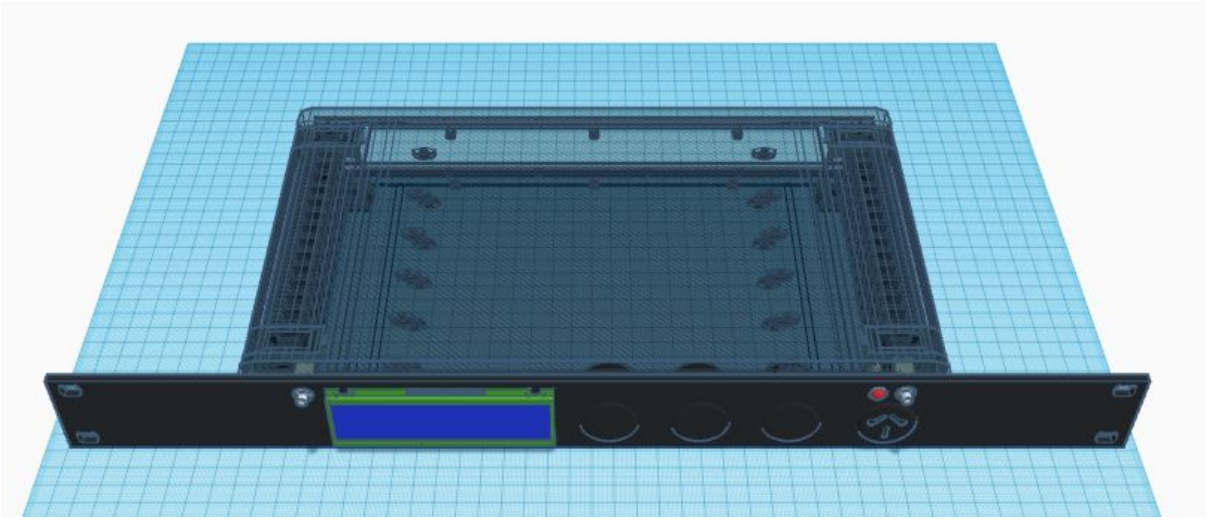

Fig. 26 Gabinete 3D 1

Fig. 27 Gabinete 3D 2

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

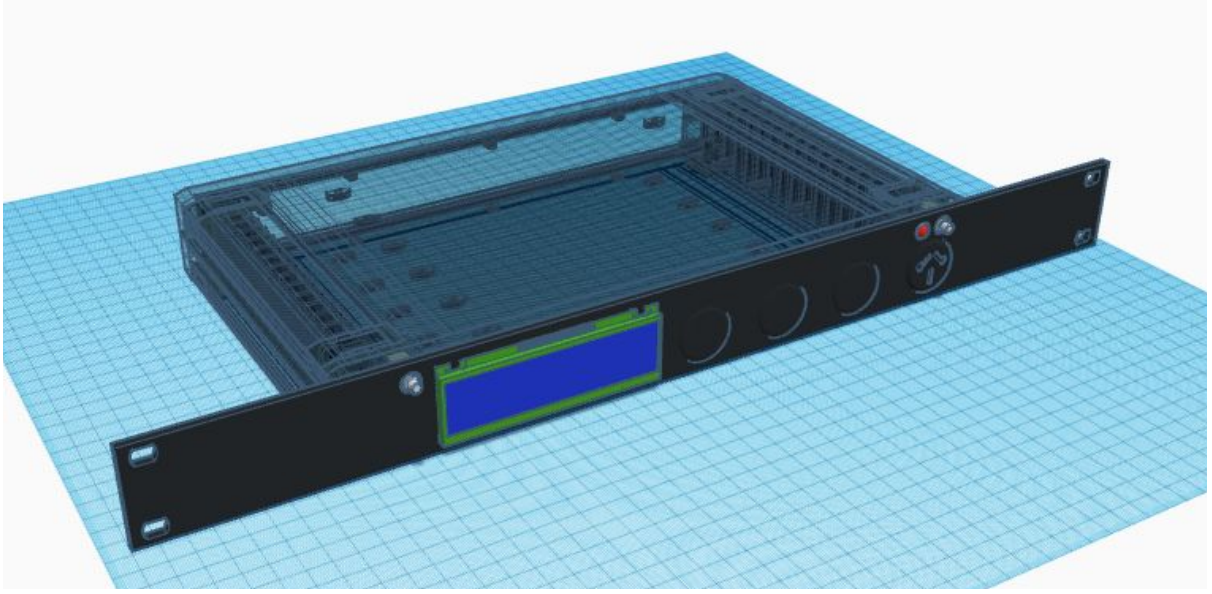

Fig. 28 Gabinete 3D 3

6. Interfaz de usuario

En la figura 29 se muestra la interfaz de usuario que se pensó al comienzo del proyecto y en la figura 30 la interfaz final. La misma cuenta con un diagrama temporal de la potencia activa, y la opción de habilitar y deshabilitar el tomacorriente. También se muestra la tensión, la corriente y la dirección IP de la PDU remota.

Tanto la GUI como el servidor que se explica posteriormente fueron implementados en Python 3.

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Además, las librerías utilizadas son compatibles con los sistemas operativos Linux, macOS y Windows 7 en adelante.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

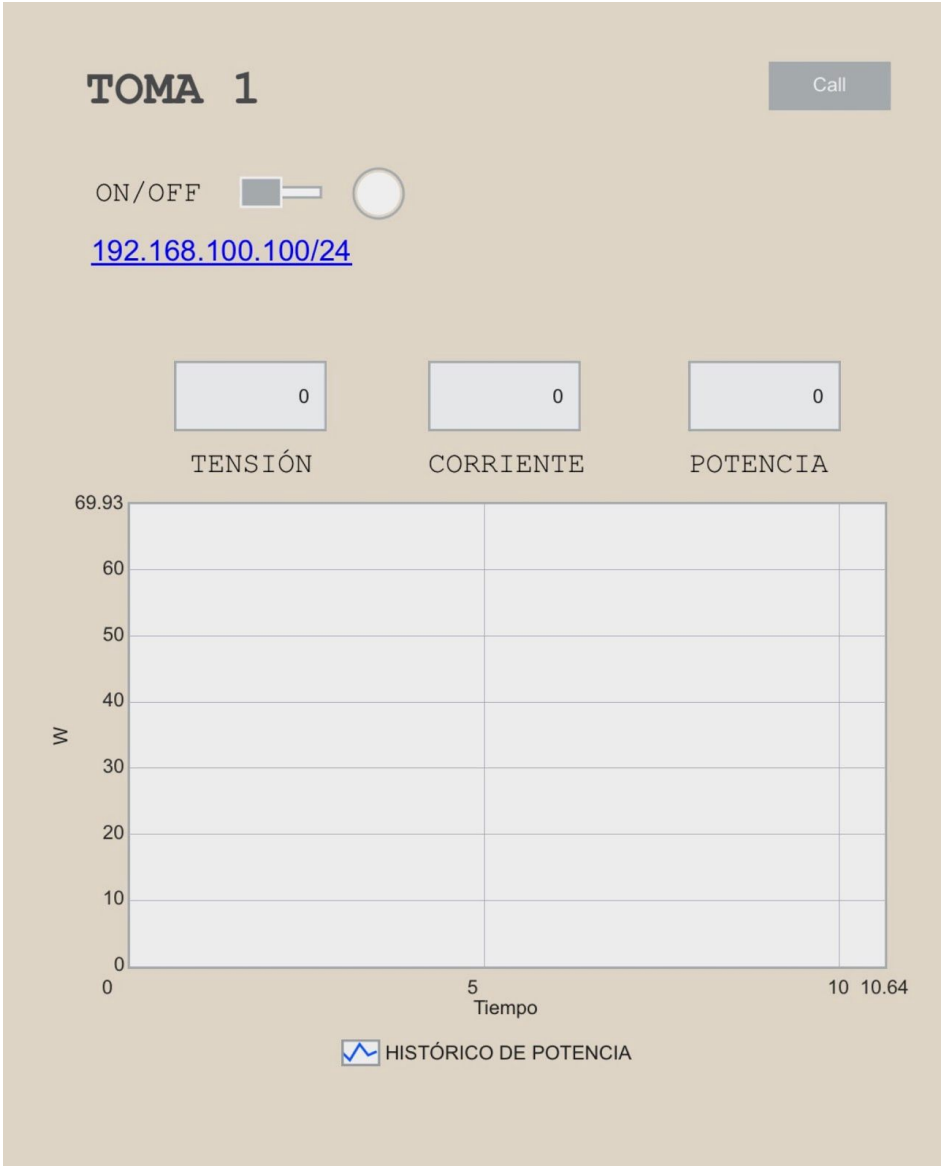

Fig. 29 Interfaz de usuario 1

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

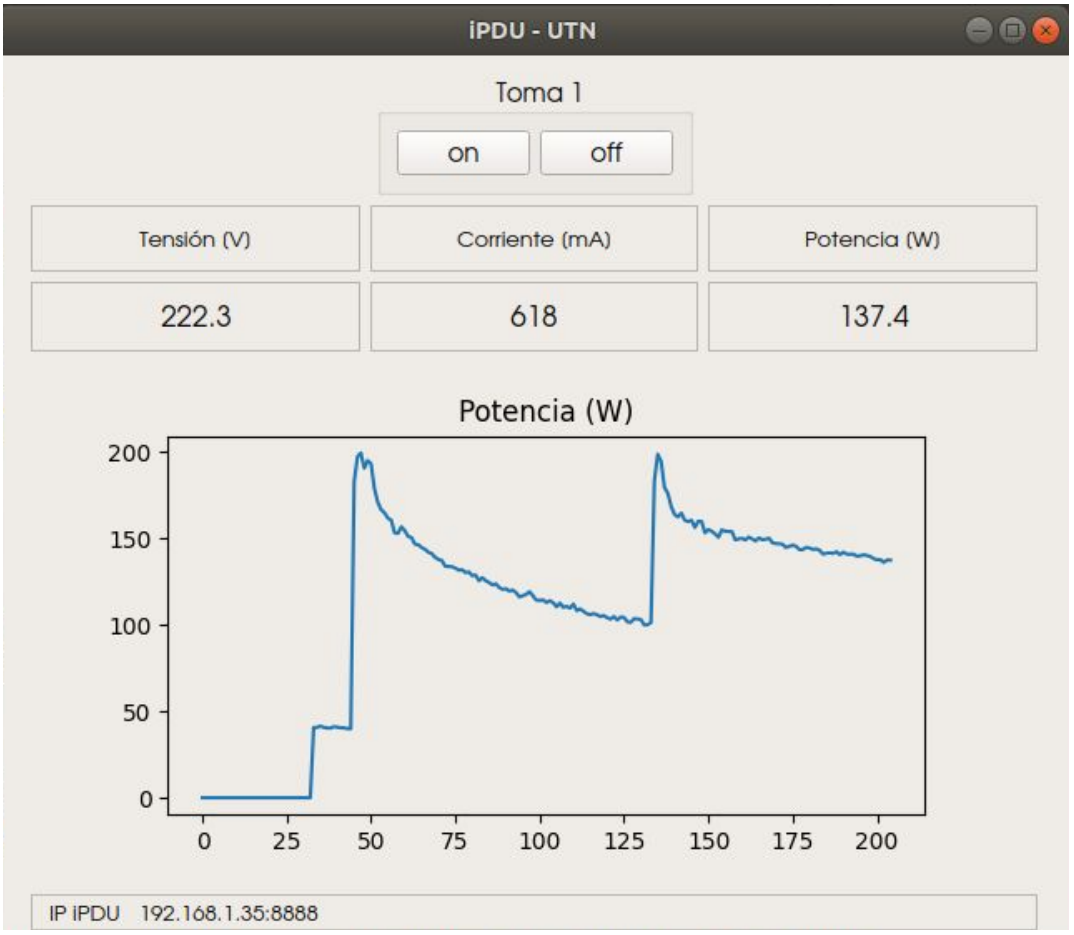

Fig. 30 Interfaz de usuario 2

7. Servidor

Como ya se ha mencionado el servidor se programó en lenguaje Python. El mismo tiene como función principal recibir las tramas UDP provenientes de la PDU, calcular el valor de la potencia y pasar los datos de potencia, tensión, corriente y dirección IP y puerto de la PDU a la interfaz gráfica.

Al mismo tiempo, la interfaz gráfica se comunica con el servidor por medio de cola de mensajes. La GUI le envía el estado de los botones en caso de que el usuario los presione.

Cada vez que el servidor recibe una trama y hace los cálculos correspondientes, le responde a la PDU enviando el estado que debe tener el relé y la potencia y tensión que debe mostrar por su pantalla.

Los códigos desarrollados, tanto del servidor como del Arduino se encuentran disponibles en github.

El servidor también cuenta con la funcionalidad de data logger. Para esto, cada vez que se ejecuta el servidor se crea un archivo cuyo nombre corresponde a la fecha y hora en

la se pone a correr el servidor. El mismo se actualiza cada un segundo con el valor de la potencia, la fecha y la hora como se muestra a continuación:

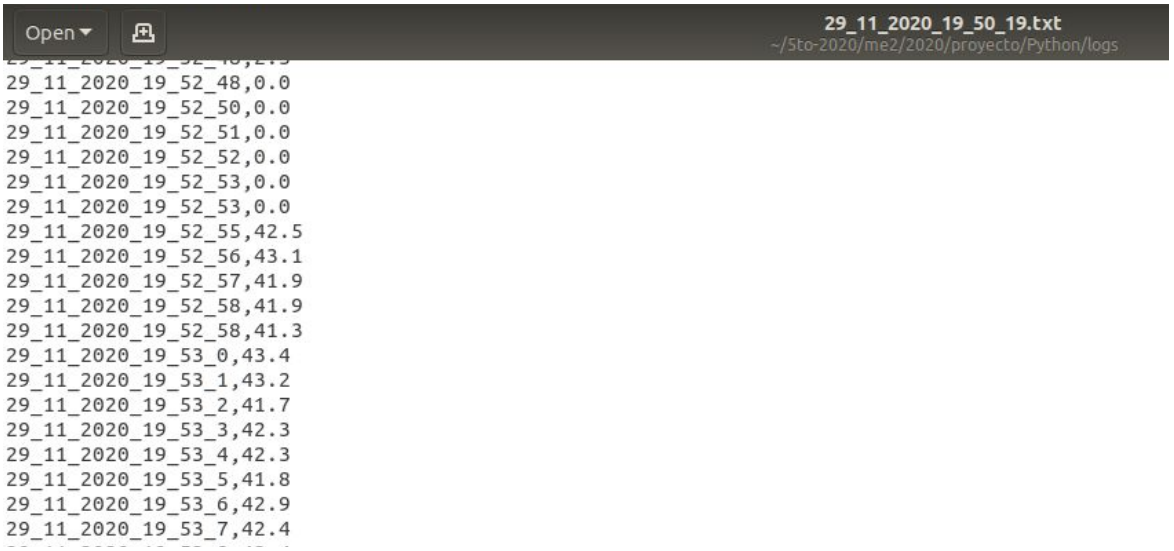

Fig. 31 Datalogger

Estos datos nos permiten graficar la potencia en tiempo real y disponer de los mismos posteriormente para analizar y comparar los distintos consumos.

Una mejora en el sistema de data logger consiste en almacenar los datos en una base de datos lo que facilita la centralización de la información y permite compartir los datos más fácilmente.

8. Código Arduino

El Arduino realiza las siguiente tareas:

- Muestrear las señales de tensión y corriente
- Calcular el verdadero valor eficaz de ambas señales
- Enviar por ethernet los cálculos realizados
- Recibir las tramas del servidor y con esa información actualizar el estado del relé si es necesario y los valores de la pantalla.

Para realizar el muestreo se emplea un timer que expira exactamente cada 2 ms (500 muestras por segundo) y produce una interrupción. La rutina de servicio de esa interrupción realiza el muestreo casi simultáneamente de la tensión y la corriente.

Las muestras se van almacenando en un vector, que cuando se encuentra lleno calcula el verdadero valor eficaz. Luego de varios ensayos realizados se determinó que el valor óptimo de la cantidad de muestras para realizar el cálculo era de 20 muestras, es decir, 2 ciclos de las señales senoidales.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

9. Circuito final

El circuito final se construyó sobre una plaqueta de PBC perforada que se monto sobre el Arduino Mega como una shield.
Incluye el circuito de amplificación del sensor de corriente y los conectores correspondientes para los módulos de ethernet, relé, LCD, sensor de tensión y fuente de alimentación.

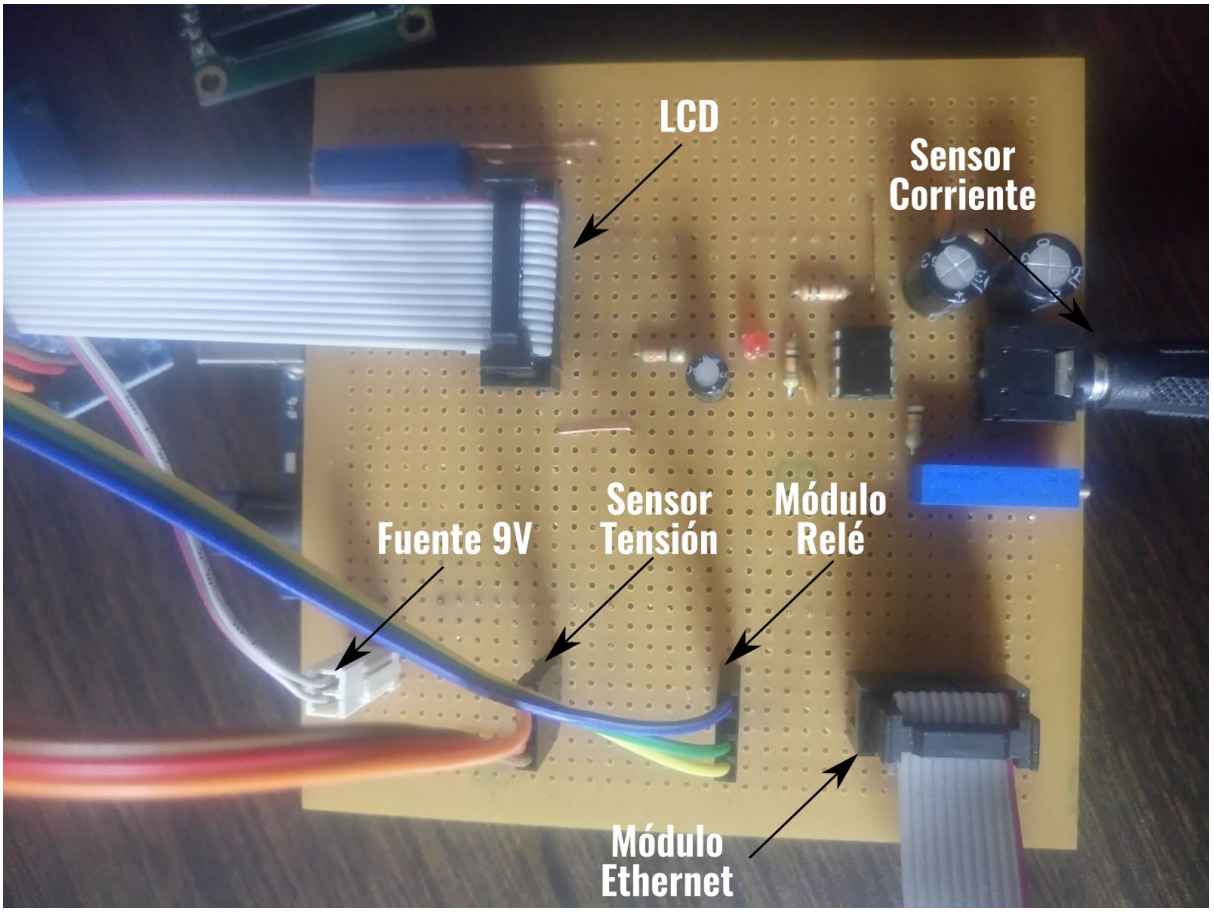

Fig. 32 Circuito final 1

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

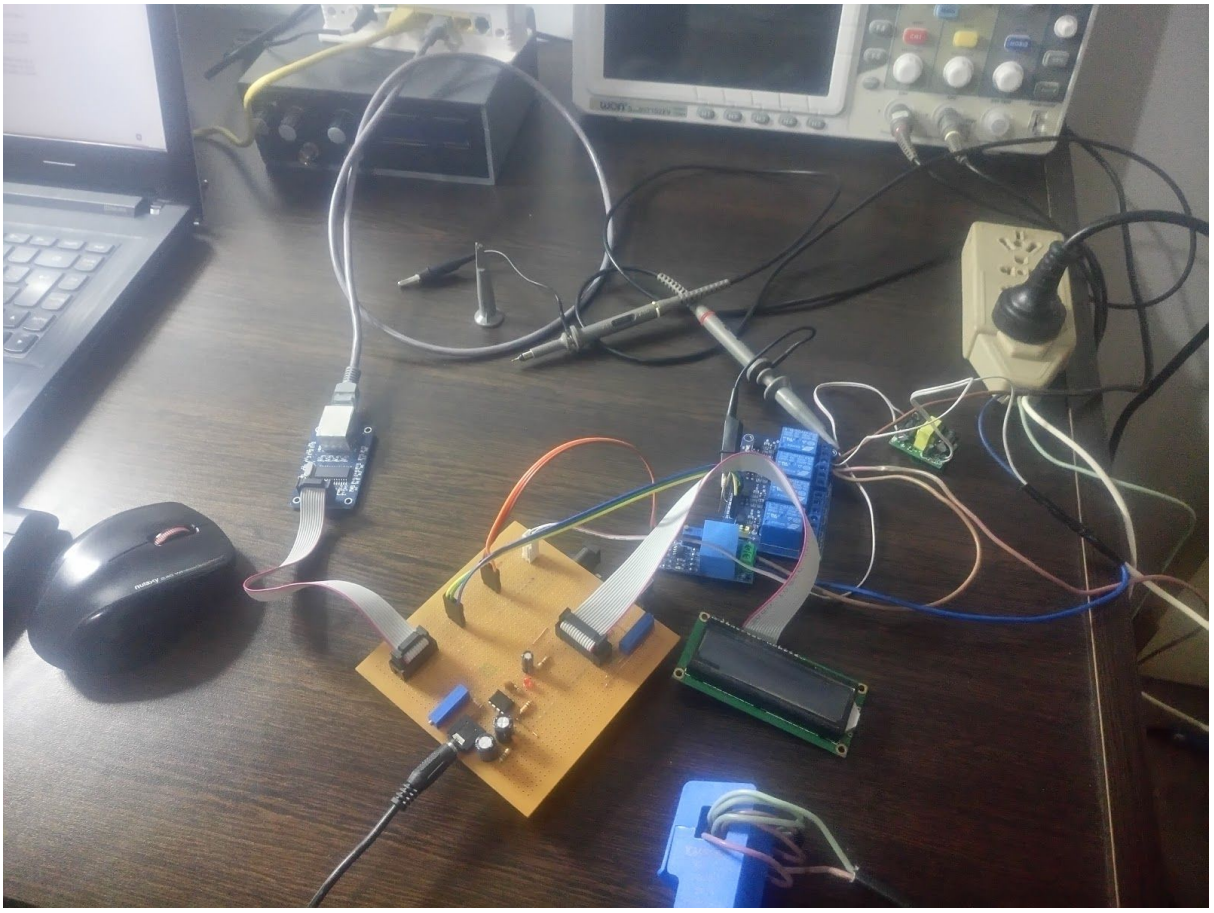

Fig. 33 Circuito final 2

10. Conclusiones

10.1. Sensor de corriente

Uno de los problemas más difíciles a resolver para cumplir con los requerimientos de resolución de potencia del proyecto, fue el sensado de la corriente. Los sensores disponibles en el mercado local brindan un rango de 5 a 10 veces al buscado. Para no trabajar en la parte baja del rango y en consecuencia en la parte donde más alinealidad presenta el sensor, se cambió la relación de transformación del transformador de corriente aumentando el número de espiras.

Se demostró en los ensayos que esta técnica propuesta por los fabricantes funciona y no se pierde linealidad, pudiendo llevar el rango de los 0 a 5A al rango de 0 a 750mA, que traducido a potencia con una tensión nominal de 220V, significa llevar el rango de 0 a 1100W al rango de 0 a 165W.

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

10.2. Error

Comparando el desempeño de la PDU con el valor de potencia calculado a partir de 2 tester digitales, con uno de ellos (el empleado para medir corriente) de verdadero valor eficaz, se obtiene un error relativo porcentual del 4.85 % en el rango de los 40W y de 3.5 % en el rango de 90 W.

Como es de esperar, existe mayor error mientras menor es la potencia medida. Aun así el error es tolerable entendiendo que las mediciones necesarias en centros de datos no requieren presiones de laboratorio.

10.3. Características destacables

Las características que le dan un gran potencial a la unidad de distribución de potencia son la opción de habilitar y deshabilitar los tomacorrientes de manera remota y la posibilidad de agregar de manera relativamente simple alarmas de baja tensión o alto consumo.

Contar con la posibilidad de registrar constantemente la energía consumida es otra de las virtudes de esta PDU. Permite conocer los picos y valles del consumo de cada equipo, y saber en el momento exacto en el que han ocurrido los problemas en caso de presentarse.

10.4. Escalabilidad

Este prototipo solo emplea el control de un único tomacorrientes. Las PDUs comerciales vienen en presentaciones monofásicas y trifásicas de unas pocas bocas, hasta decenas de bocas. La escalabilidad del proyecto depende exclusivamente de la capacidad de procesamiento y muestreo del microcontrolador.

Con el enfoque utilizado en este proyecto, donde el cálculo del valor eficaz se realiza en el mismo microcontrolador, la escalabilidad está limitada a 6 cálculos simultáneos, es decir, 5 tomacorriente. Si se intenta realizar más cuentas empiezan a fallar los tiempos y aparecen problemas de comunicación con el servidor. Un enfoque que puede solucionar este problema, es utilizar el microcontrolador como un simple adquisidor de muestras y que los cálculos se realicen posteriormente en el servidor. La desventaja de este método es que la PDU no podría mostrar la potencia consumida en su pantalla en caso que no esté conectado al servidor.

11. Bibliografía

Texas Instruments, (2016). Reference Design to Measure AC Voltage and Current in Protection Relay With Delta-Sigma Chip Diagnostics

Texas Instruments, (2020). LM358 datasheet

Embedds, (2011). ADC on Atmega328

Sofia Gai Rejan
Pablo Garcia
Leonardo Stampanoni

Microchip, (2010). ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V

Microchip, (2008). ENC28J60 Datasheet

YHDC, (2020). SCT-013-005 datasheet