

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

Implementación de un Sistema de Medición de Potencia Inalámbrico para una Carga Trifásica

Carlos Bustos, Omar Rodríguez, Hugo Mazzeo, Marcelo Zabaljauregui, Guillermo Cocha.

Centro CODAPLI, UTN, FRLP Avda. 60 y 126, Ciudad de Berisso, Pcia. Buenos Aires, Argentina, Tel: +54-221-412-4393, (codapli@frlp.utn.edu.ar; electronica@frlp.utn.edu.ar).

Resumen – Este trabajo comprende el diseño e implementación de un sistema de medición que permita monitorear potencias activas y reactivas en cargas eléctricas trifásicas. El objetivo es medir para conocer el estado de consumo de determinada carga, haciéndolo en forma económica, rápida, y sencilla. Esto podrá contribuir a controlar el consumo de potencia contratado por un gran consumidor, logrando no exceder los límites y ser multado. Como así también para evaluar el nivel de potencia reactiva de las cargas, y permitir la compensación adecuada del factor de potencia, evitando las sanciones económicas.

La metodología consiste en realizar la medición a través de una tensión proporcional a la corriente consumida por la carga, la que luego de acondicionarla y procesarla digitalmente mediante un circuito con microcontrolador, permita presentar esa información en una pantalla, dando el estado de consumo de potencia de los equipos o cargas. Para ello los datos provenientes del microcontrolador son enviados por medio de un dispositivo de transmisión inalámbrico conectado a la red Wi-Fi del lugar, lo que permite transmitir luego, los resultados de las mediciones en forma remota a través de Internet.

Además del desarrollo e implementación del prototipo se muestran los detalles constructivos del hardware y software del dispositivo electrónico. Se muestran también las imágenes de la interfaz gráfica, y tablas comparativas de mediciones comparadas con un medidor patrón, dando indicación de errores absolutos y relativos.

Palabras claves: *Potencia; trifásico; Arduino; Wi-Fi; IoT*

Abstract – This work includes the design and implementation of a measurement system that allows monitoring active and reactive powers in three-phase electrical loads. The objective is to measure to know the state of consumption of a certain load, doing it economically, quickly, and easily. This may contribute to controlling the power consumption contracted by a large consumer, managing not to exceed the limits and be fined. As well as to evaluate the level of reactive power of the loads, and allow adequate compensation of the power factor, avoiding economic sanctions.

The methodology consists in carrying out the measurement through a voltage proportional to the current consumed by the load, which after conditioning and processing it digitally through a circuit with microcontroller, allows to present that information on a screen, giving the state of power consumption of equipment or loads. For this, the data coming from the microcontroller are sent by means of a wireless transmission device connected to the Wi-Fi network of the place, which allows the results of the measurements to be transmitted remotely over the Internet.

In addition to the development and implementation of the prototype, the constructive details of the hardware and software of the electronic device are shown. The images of the graphic interface are also shown, and comparative tables of measurements compared to a standard meter, indicating absolute and relative errors. **Keywords:** *Power; Arduino; Wi-Fi; IoT*.

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo es mostrar el desarrollo de un medidor de potencia trifásico con comunicación de datos inalámbrica.

El auge de los dispositivos de control modernos conectados a redes de Internet, y el bajo costo de instrumentos de medición de precisión moderada, permiten desarrollar equipos para calcular la potencia en diversas cargas en tiempo real. Estos consumos normalmente se encuentran distribuidos en espacios amplios o distantes entre sí, que una red Wi-Fi puede abarcar con comodidad. El sistema propuesto brinda la posibilidad de comprobar si el consumo de potencia contratada por un gran consumidor no se excede de los límites establecidos y quedar expuesto a multas. También permite saber que potencia reactiva se está manejando en el sistema eléctrico, con el fin de establecer la compensación necesaria a fin de no tener sanciones económicas.

Por otro lado desde el punto de vista del control general, la implementación presentada nos ofrece la posibilidad de poder conocer las horas de funcionamiento y la energía que consumió determinada carga, posibilitando acceder al rendimiento de máquinas y procesos productivos.

Para llegar a conseguir el objetivo principal de este desarrollo se deben cumplir otras tareas complementarias, a saber:

- Diseño y fabricación de una placa PCB para los integrados ADE7758 y ATmega328P y el slot para colocar el ESP8266.
- Lograr comunicación entre los dos circuitos integrados por medio del Bus SPI (Serial Peripheral Interface).

- Desarrollar un sketch de ATmega328P para obtener las mediciones del ADE7758, y luego transmitirlos vía Wifi.
- Lograr una medición con un error por debajo del 3%.
- Desarrollar un sistema que pueda leer lo transmitido por ATmega328P, analizarlo y almacenarlo, y también que presente en pantalla los valores de las potencias W (activa), RVA (reactiva) y VA (aparente), en tiempo real.
- Lograr todo esto en forma compacta y económica.
- Superar las condiciones ambientales de trabajo, teniendo bajo consumo de energía y buena autonomía.

DESARROLLO

Como se ve en la Fig. 1, el sistema está compuesto básicamente por:

- Etapa de medición: con el transformador de Intensidad (TI) y un divisor de tensión se acondicionaran las magnitudes para que el ADE7758 pueda recibir esa información en forma adecuada.
- Etapa de cálculo: mediante algoritmos internos, el ADE7758 calcula y luego transmite los niveles de potencia obtenida, por medio del Bus SPI (Serial Peripheral Interface).
- Etapa de comunicación: los datos recibidos por el ATmega328P provenientes del ADE7758 serán enviados por medio del módulo ESP8266 a la red interna vía Wifi.
- Etapa de control: una computadora recibe esa información, la interpreta y muestra en la pantalla, el estado de potencia de una o varias cargas.

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

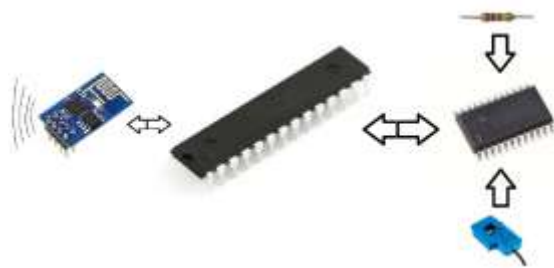


Fig. 1 Elementos básicos generales

El sistema se alimenta de la propia tensión que utiliza para medir, no afectando a la carga ni a la propia medición ya que ésta conectada previamente al punto de medición de corriente. Se utiliza una fuente de 220V AC a 5V DC incluida en la misma placa PCB.

Se desarrollaron dos placas de PCB, una por cada equipo de medición, utilizando para su diseño el software PCB Wizard.

A continuación, una explicación de las funciones y características de cada etapa.

1. Etapa de medición.

Esta etapa proporciona al circuito integrado ADE7758 la señal de voltaje proporcional a la corriente a medir, la cual está acondicionada al rango de medición de dicho circuito.

Se utiliza un divisor de tensión para llevar la tensión promedio eficaz de 220 V a 0,22 V aproximadamente, y un transformador de corriente (TI), de 100 A máximo a 50 mA máximo.

1.1. Divisor de tensión

Se utiliza un divisor de tensión simple para reducir los niveles de tensión de línea a los requeridos por el ADE7758. Consideramos que la impedancia de entrada de este CI es elevada, (380 K Ω mínimo) y no genera error en el cálculo del divisor de tensión al que está acoplado.

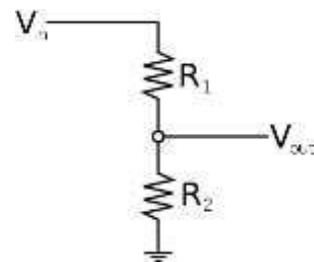


Fig. 2 Divisor de tensión de entrada

Como se ve en la Fig. 2, la tensión de entrada V_{in} se reduce en la resistencia R_1 hasta alcanzar sobre R_2 los niveles que cumplan el rango de tensión de entrada del CI. Esa tensión depende de la relación y valor de ambas resistencias y se puede calcular de la siguiente manera:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

En nuestro caso:

$$V_{in} = 220 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_{out} = 0,22 \text{ V}$$

A este valor habría que agregarle el error que introduce cada resistencia, que sería del orden de $\pm 5 \%$ si se utiliza una con color en la última banda dorada.

$$E = \pm 0,05 \times 0,22 \text{ V} = \pm 0,011 \text{ V}$$

Por lo tanto:

$$V_{out} = (0,22 \pm 0,011) \text{ V}$$

1.2. Transformador de corriente (TI)

Los transformadores de corriente se utilizan en la práctica para medir la corriente sin interrumpir los circuitos. Por lo tanto, la medición de la corriente mediante TI es simple y segura. Los TI utilizan el campo electromagnético que genera sobre el mismo, la corriente que circula, y que queremos determinar.

Un TI consiste básicamente en un transformador, cuyo núcleo puede abrirse para permitir insertar el devanado primario. Este puede ser una sola vuelta, o un sólo conductor, que queda colocado en este a través de un hueco central como se muestra en la Fig. 3. El devanado secundario tiene un gran número de vueltas alrededor del núcleo, que es de material magnético laminado, y emplea alambre de muy baja sección.

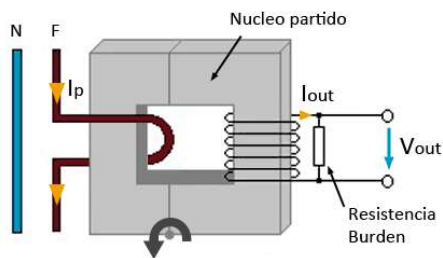


Fig. 3: $V_{out} = I_{out} \times \text{Resistencia Burden}$

Para nuestro trabajo se seleccionó el TI SCT013 (Fig. 4) que tiene una relación de 100A a 0,05A con una aislación de 1000V. Su error es del 3% , dentro del rango de medición entre algunos miliamperios hasta 100A.

La resistencia de carga del TI (Burden) será en nuestro caso de 1 Ohm.



Fig. 4 El TI SCT013

2. Etapa de Cálculo.

El ADE7758 es un DSP procesador digital de señales (digital signal processing), de alta exactitud, especializado en la medición de energía eléctrica, con capacidad de medir las tres fases de la energía eléctrica, además de poseer una interfaz de comunicación serial, y dos salidas de pulsos.

Como características generales, el ADE7758, posee un ADC conversor analógico digital, (*Analog-to-Digital Converter*), un integrador digital, un circuito de referencia de voltaje y todo el procesamiento digital necesario para el cálculo de los valores RMS y mediciones de energía activa, reactiva, y aparente.

La Fig. 5 muestra el diagrama de bloques funcional del DSP, sus entradas, procesos y salidas. Seguidamente haremos un análisis general de cada una de las etapas que conforman el DSP.

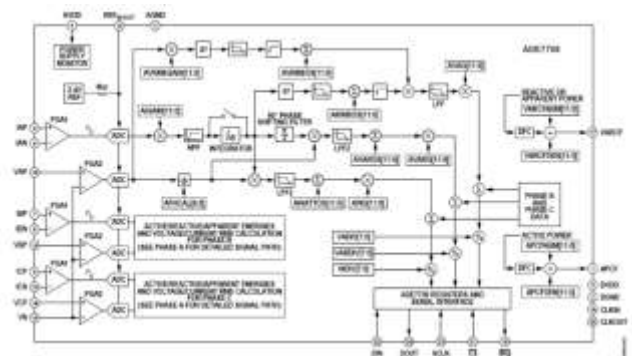


Fig. 5 Diagrama en bloques del ADE7758

➤ Etapa de Entrada

La primera etapa del DSP la constituyen seis entradas analógicas divididas en canales de Corriente y Voltaje. Estas atraviesan un filtro pasa bajo para eliminar frecuencias elevadas no deseadas y ruido, evitando así el denominado efecto “aliasing” producido en el muestreo de señales.

Cada una de estas entradas acepta hasta un voltaje máximo diferencial de $\pm 0,5$ voltios. Cada señal pasa a través del ADC con modulación Sigma-Delta ($\Sigma-\Delta$) de 16 bits que muestrea, y finalmente digitaliza la señal.

➤ Etapa de Procesamiento

El valor eficaz de una tensión o corriente se define matemáticamente como:

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

El método que utiliza el ADE7758 para realizar el cálculo del valor RMS es el siguiente: toma la señal de salida del filtro pasa bajo, la eleva al cuadrado, la hace pasar por un segundo filtro para bajos (LPF), (low-pass filter) para luego tomar la raíz cuadrada del resultado. Este procedimiento se realiza simultáneamente a las seis entradas analógicas; no obstante, es ligeramente distinto para los canales de corriente y voltaje.

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot VRMS \cdot \text{sen}(wt)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot IRMS \cdot \text{sen}(wt - \varphi)$$

Cuando hallamos el producto obtenemos:

$$p(t) = IRMS \cdot VRMS \cdot \cos(\varphi) - IRMS \cdot VRMS \cdot \cos(2wt - \varphi)$$

La potencia activa promedio se obtiene mediante la siguiente integral, calculada en “n” número de ciclos:

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt = IRMS \cdot VRMS \cdot \cos(\varphi)$$

El cálculo de la potencia reactiva se realiza de manera similar al de potencia activa, con la diferencia de que, una de las señales de voltaje o corriente, debe ser desfasada en 90°:

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot VRMS \cdot \text{sen}(wt)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot IRMS \cdot \text{sen}\left(wt - \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$q(t) = IRMS \cdot VRMS \cdot \text{sen}(\varphi) - IRMS \cdot VRMS \cdot \text{sen}(2wt - \varphi)$$

La potencia reactiva promedio se calcula de la misma manera que fue obtenida la potencia activa promedio, lo que resulta en:

$$Q = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} q(t) dt = IRMS \cdot VRMS \cdot \text{sen}(\varphi)$$

3. Etapa de comunicación.

3.1. Comunicación por el Bus SPI

La última etapa del ADE7758 es la etapa de salida. Ésta consta de un puerto de comunicación serial SPI, una salida de aviso de interrupciones, y dos salidas: una con información de la potencia activa, y otra con información sobre la potencia reactiva. Como se ve en la Fig. 6, las conexiones para esta comunicación corresponden a los pines 22 a 24. El pin 18 que es de petición para interrupción no se utilizará en este proyecto.

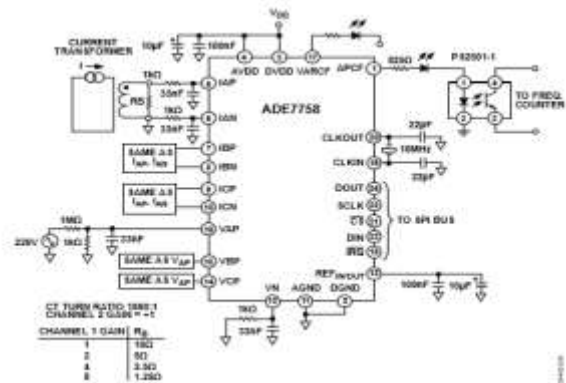


Fig. 6 Conexión básico del ADE7758

A través de la salida serial se puede brindar información relacionada con el valor o el estado de cualquiera de los registros disponibles, así como también se permite modificar el valor de algunos de estos registros. La interfaz serial está compuesta por cuatro señales: transmisión (DOUT), recepción (DIN), reloj serial (SCLK) y selección de dispositivos (SC).

Es de tener en cuenta que la dependencia que presenta el dispositivo en la comunicación es tal, que para que ésta sea realmente efectiva, es necesario que el ente maestro (en nuestro caso, el ATmega328P) habilite el dispositivo mediante la señal de

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

selección, también active la señal del reloj, y luego si podrá comenzar la comunicación realizando alguna petición.

La petición se realiza mediante la utilización de un protocolo simple que permite el manejo de los registros con cierta facilidad. Como ya se mencionó, la comunicación comienza por parte del maestro, quien envía una primera trama de 8 bits que indica la operación a realizar sobre el registro en cuestión (el primer bit) y la dirección de dicho registro (el resto de los bits). Luego de esto, el dispositivo esperará recibir información a almacenar en el registro, o enviará la información que éste contenga dependiendo de la operación que se vaya a realizar (escritura o lectura del registro). Toda la información transferida es dividida en tramas de 8 bits, esto hace que, en algunos de los casos, el registro sea enviado en varias tramas.

Para la escritura del registro el primer bit de la trama debe ser un "1", mientras que para la lectura éste debe ser un "0". En las Figuras 7 y 8 se puede apreciar mejor el protocolo de comunicación entre los dispositivos.

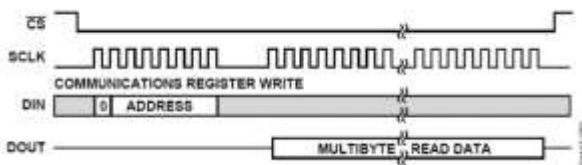


Fig. 7 Trama de lectura

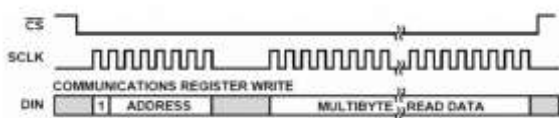


Fig. 8 Trama de escritura

Las características y función de los registros utilizables o programables en el ADE7758 se pueden consultar en su hoja de datos [12].

En cuanto a las salidas de pulsos, podemos decir que tienen dos funciones principales:

- ✓ Calibración
- ✓ Servir de señales de entrada a contadores electromecánicos.

3.2. Comunicación Wifi.

3.2.1. Placa Arduino

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes guardadas en su propia memoria. Está compuesto de todos los bloques funcionales de un sistema microprocesador en un único encapsulado, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida; los tres se encuentran conectados mediante buses.

Para el diseño de nuestro prototipo se ha escogido el microcontrolador ATmega328P de Atmel, creadora de los microcontroladores sobre los que se basan los Arduinos (Atmega) y que poseen las mismas características antes mencionadas que los de Microchip. Al ser equivalentes en lo que se refiere a hardware, hay que considerar una característica que lo hace más indicado para este proyecto y es su posibilidad de trabajar con la plataforma Arduino. Esto abre un universo de posibilidades.

El llamado IDE (Integrated Development Environment) o software de desarrollo Arduino está publicado bajo una licencia libre, es decir totalmente gratis y preparado para ser ampliado por programadores experimentados. Además, se puede descargar de su página oficial que ya incluye los drivers de todas las placas

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

disponibles, lo que hace más fácil la carga de códigos desde cualquier ordenador.

Arduino también ofrece una gran gama de Shields o placas extras que cumplen funcionalidades específicas como Ethernet, GSM, control de relés, Wifi y pueden ser acopladas a las placas de forma sencilla, aumentando considerablemente el rango de aplicaciones disponibles.

El microcontrolador ATmega328P posee 14 entradas/salidas digitales (6 de ellos soportan PWM), 6 entradas analógicas, comunicación SPI y opera a 5 V.

En la Fig. 9 se observa qué tipo de señal se utiliza en cada pin del microprocesador.

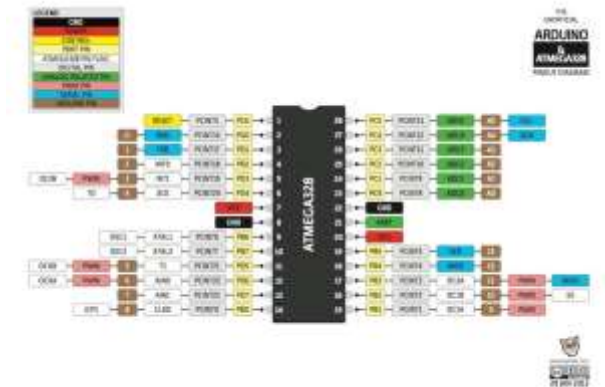


Fig. 9: Características de los pines del ATmega328P

Como se observa en la Fig. 9, los pines más importantes para nuestro proyecto son las entradas 7 y 20, que son de entradas de 5 V, las 8 y 22 de tierra, las 9 y 10 al cristal de 16 MHz, también de la 16 a la 19 para conexión SPI y el resto diversas entradas y salidas.

La función específica del Arduino será pedir los datos al ADE7758, recibirlos y volver a enviarlos por Wi-Fi a una base de datos. Este microprocesador no hará ningún tipo de procesamiento ni control, solo comunicación.

Las instrucciones al microcontrolador se programan mediante el IDE a través de un “sketch” (lista de instrucciones con una estructura predeterminada con extensión .ino), al que luego se compila y carga en el microprocesador (Fig. 10).

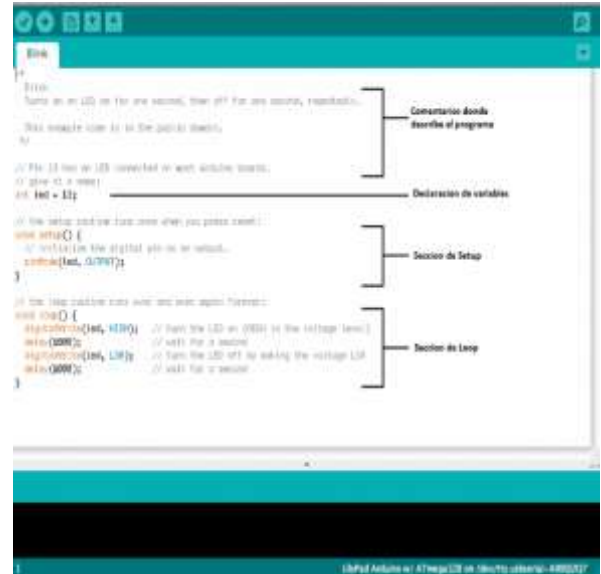


Fig. 10: IDE con su estructura básica de programación

3.2.2. Conexión Wi-Fi

Se eligió este sistema de comunicación por su popularidad, estabilidad de conexión, adaptabilidad a diferentes requerimientos de utilización -ya que no requiere cableado- y, además, su bajo costo.

Para realizar esta comunicación se utilizó el ESP8266. Este shield se conecta al Arduino, dándole la posibilidad de tener acceso a una red local (Intranet) para transmitir y recibir datos.

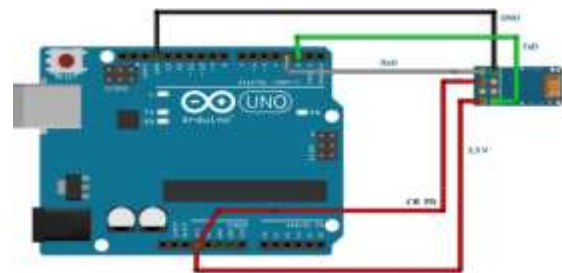


Fig. 11 Conexión Arduino a placa Wi-Fi

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

Como se ve en la Fig. 11, conectamos el shield ESP8266 en los pines digitales 2 y 3 del Arduino y lo trabajamos con comandos AT para poder configurar el Wi-Fi y enviar los datos.

Utilizamos un router inalámbrico para generar el punto de acceso de la red Wi-Fi y que nuestro dispositivo se conecte a la misma, como se muestra en la Fig. 12.



Fig. 12 Creación del punto de acceso

4. Etapa de control.

En esta etapa se guardan los datos que transmite el dispositivo desarrollado, y tiene la posibilidad de poder visualizarlos en tiempo real en forma fácil. De esta manera se podrá saber el estado de la carga y tomar decisiones.

La herramienta desarrollada por Ubidots permite capturar datos de un entorno determinado, como temperatura, energía, o cuánta gente pasa por un lugar, etc. y convertir esos datos en indicadores visualizables.



Fig. 13: servicio Front-end dedicado al IoT

Por ejemplo se lo utiliza en hospitales para poder contar con un sistema que permita supervisar la temperatura y humedad relativa

que registran sensores en heladeras y quirófanos y así controlar medicamentos, plasma sanguíneo, o mantener ciertas condiciones de salubridad.

A través de sistemas como éste el denominado Internet de las Cosas (IoT), ya permite controlar la temperatura en edificios inteligentes, programar el alumbrado público, o instruir a las máquinas para tareas conjuntas. Así en nuestro caso nos permitirá observar el consumo de una carga eléctrica, para saber en qué estado se encuentra.

Esta prestación proporcionada por Ubidots se encuentra accesible en Internet. Nuestro equipo se enlaza a este servicio y mediante una estructura de datos, enviamos las variables relevadas directamente a la nube. Se utilizará la versión educacional, que más allá de sus limitaciones, será suficiente para nuestro proyecto.

Este sistema solo puede almacenar y visualizar las variables, mostrar en tiempo real el valor y referenciar entre qué valores puede estar su máximo y mínimo. Esto último sería muy útil para saber si la carga está en su máxima potencia, o en qué estado está. Además, muestra un histórico de la evolución del estado de las variables, el cual se puede descargar en formato .XLS para poder trabajar desde una computadora.

5. Diseño y desarrollo del prototipo.

5.1. PCB Wizard

Una de las metas del trabajo también fue el diseño y la fabricación de las placas de circuito impreso (PCB), (Printed Circuit Board), en las que se sitúan los componentes electrónicos que forman el dispositivo.

Las PCBs son superficies constituidas por caminos, pistas o buses de material

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

conductor sobre una base no conductora, y sobre estas pistas conductoras se sueldan los distintos componentes electrónicos para formar la placa completa que se quiere fabricar. De esta forma, las conexiones entre estos componentes electrónicos no necesitan cables para conectarse unas a otras. Estos circuitos impresos, además de utilizarse para conectar eléctricamente a los componentes a

través de los caminos conductores, también los sostiene mecánicamente mediante agujeros y soldaduras entre la placa y el dispositivo electrónico. Las pistas son generalmente de cobre mientras que la base se fabrica de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica, plástico, teflón o polímeros como la baquelita.



Fig. 14: ejemplo de Tablero extraído de la página UBIDOTS

PCB Wizard es un programa diseñado para el ámbito educativo que permite crear esquemas de circuitos electrónicos y a partir de estos, obtener de una manera sencilla el diseño del circuito impreso, a una o dos caras.

En el primer prototipo, Fig. 15, se pudo verificar la comunicación logrando obtener la temperatura que media el ADE7758. Luego también con el Transformador de Intensidad se midió, corriente.

5.2. Elaboración del sketch

Se basó, en principio, en lograr una comunicación exitosa entre el Arduino y el integrado ADE7758 por medio del SPI.



Fig. 15 Las PCBs

Se utilizaron varios sketches obtenidos desde Internet. Se los corrigió y adaptó a nuestro proyecto. Por esto el código cuenta con librerías propias para poder simplificar el programa principal.

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

Se continuó luego con la comunicación con Ubidots. Primero para poder configurar el shield ESP8266 y conectarlo a la red Wi-Fi.

Se creó una cuenta en Ubidots en el formato educacional, luego se agregó un dispositivo y a éste, las variables de corriente (fue el primer ensayo, sólo con corriente). Como no es fácil obtener documentación al respecto sobre el envío de la información a una base de datos vía comandos AT por el ESP8266, este proceso demandó tiempo. Además, se encontraron conflictos con la memoria dinámica y el largo de las cadenas

de caracteres (strings), siendo que se cortaban o, directamente, no se enviaban. Esto se debe a que Ubidots requiere que se tenga una estructura de información con identificación, código de seguridad, tipo de datos y datos que se envían.

Luego de un tiempo de investigación y pruebas se logró que Ubidots reciba los datos y grafique en el panel (Fig. 16). Los datos mostrados por el tablero no fueron relevantes en un principio, ya que sólo se buscó la conexión y el envío del estado de las variables.



Fig. 16: Primer tablero desarrollado en Ubidots, se constató la corriente de una sola fase como modo de prueba.

La última parte fue integrar todo lo anterior, la conexión por medio de SPI entre el Arduino y el ADE7758, con la calibración de este último, y el envío de datos a Ubidots.

El problema de los strings se solucionó recortando y distribuyendo en varias partes la misma estructura de datos para su envío. Además se agregó la función (flush) para pausar la ejecución del sketch hasta que el Bus Serial o el módulo Wi-Fi termine de enviar los datos. También se agregó la función Watchdogs en varios puntos del programa por si se “bloquea” el programa por algún motivo. Esta función reinicia el circuito

integrado, borrando la memoria y el estado de las entradas. Tiene varios puntos distribuidos en las líneas de comando donde si no se pasa por una de ellas -en nuestro caso 8 segundos-, se ejecuta el reinicio. Con estas funciones y líneas de código se garantiza la estabilidad del sistema y, por lo tanto, el envío de datos a la nube.

El integrado ADE7758 no tiene registro de potencia activa o reactiva para consultar, sino de energía activa y reactiva. Esta energía se mide por medio de la acumulación de las potencias. En cada consulta que realiza para la medición de las energías, el integrado

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

ADE7758, luego de enviarlo al Arduino, borra la memoria, y vuelve a acumular potencia consumida por la carga para calcular nuevamente la energía.

En la etapa del pedido de lectura que hace el Arduino al ADE7758, ésta se configuró para que haga 10 pedidos y saque el promedio de ellos. Cada pedido va con un retardo de 10 milisegundos entre ellos. Esto se hace para la potencia activa y luego para la reactiva. Con esta metodología se trata de eliminar alguna medición que se pudiera realizar en el momento excepcional en que exista un pico o valle en el consumo de potencia.

6. Ensayo de mediciones y correcciones.

Estas mediciones se realizaron en el Laboratorio de Ensayos, de la Catedra de Maquinas Eléctricas. Se utilizaron los siguientes equipos:

- Banco de resistencias: De Lorenzo, Modelo DL 2090;
- Banco de Fuente de Alimentación: De Lorenzo, Modelo DL 1059;
- Variador de fase: CGZ, Modelo ESP G 1421;
- Medidor patrón: Marca Landis & GYR, Modelo TVH4.322 con una Clase 0,2;
- Transformador: De Lorenzo, Modelo DL 2080.

Primero consideramos eliminar el error sistemático. Si no hay tensión ni corriente las mediciones dan cero, pero la medición tiene algún valor, aunque sea pequeño, éste lo eliminamos.

Midiendo luego la carga con factor de potencia 1, obtenemos los resultados de la tabla 1. Obviamente, solo obtuvimos potencia activa.

Nº muestra	Patrón	Medidor[W]	Error	% error
1	1670	1669	8	0,4
2	1670	1645	25	1,5
3	1670	1610	60	3,7
4	1650	1610	40	2,4
5	1640	1627	13	0,7
6	1640	1662	-22	1,3
7	1640	1627	13	0,7
8	1650	1645	5	0,3
9	1640	1645	-5	0,3
10	1650	1627	23	1,4
Media	1652	1636	16	1,3

Tabla 1

Como se observa, logramos un error del 1,3% cuando se mide con factor de potencia 1. Esta conclusión, aunque sea apresurada y con solo una medición, nos da una expectativa de cómo se comportaría el error en este tipo de mediciones.

En cambio, este error varía cuando se mide con factor de potencia 0,5, como se ve en la tabla 2.

Nº muestra	Patrón w	Patrón var	Medidor w	Medidor var	Error w	Error var	% error Pot. Act.	% error Pot. React.
1	181	313	191	300	-10	13	5,2	4,3
2	182	312	179	303	3	9	1,6	2,9
3	182	312	191	303	-9	9	4,7	2,9
4	181	313	179	300	2	13	1,1	4,3
5	181	312	191	305	-10	7	5,2	2,2
6	181	313	191	303	-10	10	5,2	3,3
7	181	313	179	301	2	12	1,1	3,9
8	181	312	191	303	-10	9	5,2	2,9
9	182	314	179	303	3	11	1,6	3,6
10	181	313	195	305	-14	8	7,1	2,6
Media	181,3	312,7	186,6	302,6	-5,3	10,1	3,8	3,3

Tabla 2

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

Como se observa, ya que el objetivo fue verificar la variación del error según cambia el desfasaje entre la corriente y la tensión, esto sería lo que más afecta al error que introducen los TI y el mismo ADE7758. Cabe destacar que no se logró encontrar el diagrama de variación de error de los TI según la corriente que circula en ellos. El error de la potencia activa aumenta un poco más de 3 veces, pero manteniéndose dentro de lo esperable para este proyecto.

En otra experiencia realizada se conectaron los 2 medidores desarrollados a un calefactor eléctrico de una potencia según el fabricante de 2 kW, más un des-humificador, con una potencia de 210 W. Este último equipo consta de un motor compresor, lo que introduce un pequeño desfasaje de la corriente respecto a la tensión, a diferencia del calefactor eléctrico.



Fig. 17: Calefactor y deshumificador conectados a medidores

Los dos equipos se conectaron en forma autónoma a Internet y transmitieron a la página Ubidots los registros de medición. En la Fig. 18 se observa la medición en cada equipo con un gráfico del historial de su variación.



Fig. 18: Imagen obtenida del tablero que presenta la página de Ubidots

Se puede observar que los dos equipos miden diferente. Aunque las construcciones son similares esto puede deberse a la orientación de los TI, configuración previa de

los registros de los ADE7758 y errores de medición antes comentados.

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

CONCLUSIONES

El trabajo de desarrolló en doce meses, evaluándose múltiples posibilidades de tecnología, construcción y calidad del equipamiento.

La idea básica del diseño fue lograr un equipo compacto, capaz de proveer información de manera inalámbrica hacia cualquier otro lugar remoto. En gran medida se lograron implementar con éxito las funciones necesarias para: tener una medición confiable, lograr la adaptabilidad a cualquier tipo de carga y establecer la comunicación con Ubidots.

El uso de integrados programables como el ADE7758, ayuda a ahorrar gran cantidad de circuitería y de tener que utilizar una interfaz de comunicación con más cantidad de circuitos integrados.

Restaría, para los avances a futuro, corregir los registros del integrado medidor de energía, además de calibrar, y adecuar estos registros de manera más conveniente. Esto llevaría a reducir los errores del sistema propuesto, adaptándolos a la corrección de los errores introducidos especialmente por los TI.

El ATmega328P resulta sumamente económico y fácil de usar, pero su memoria no ayudó cuando pasamos a la etapa de transmisión vía Wi-Fi. Con un sketch grande, de muchas variables –algunas eran muy largas- esto llevó a tener una memoria dinámica muy justa para este dispositivo. Habrá que evaluar en una siguiente etapa, agregar otro integrado similar de forma de esclavo, para dividir tareas y carga de variables y sketch.

El sistema Ubidots resultó perfecto como interfaz Front-end, dando una interacción clara con el usuario final sobre el estado de carga y su histórico. Pero más allá

de esto se podría evaluar tener un servidor propio con una página donde se muestren los datos obtenidos. De esta forma no se dependería de un servicio externo en esta parte del desarrollo y quedaría como un “know how” propio.

Ya con el equipo desarrollado y funcionando, se vio también la necesidad de agregar, en un desarrollo posterior, un conector RS-232 para facilidad de conexión con una computadora. Esto facilitaría cargar una actualización de su sketch o revisar el estado del dispositivo y obtener una conexión mucho más ágil, rápida y segura.

Todas estas son mejoras posibles, que mejorarían la interacción y calidad del equipo, sin embargo no cambiarían sus prestaciones y funcionalidad.

Este equipo, con sus diferentes etapas, llevó mucha investigación en electrónica, programación y profundización de los conocimientos de Mediciones Eléctricas a través de bibliografías y consultas a expertos en el tema para el desarrollo del equipo en cuestión. También llevó muchas semanas de prueba en cada etapa del desarrollo.

La obtención del equipo final logró concluir con los objetivos iniciales de este proyecto en forma satisfactoria.

El conocimiento obtenido es uno de los puntos más importantes y uno de los objetivos buscados a través del Proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Diseño de un Sistema de Medición de Potencia en una carga trifásica.
- [2] Conceptos Generales sobre los Aparatos de Medida – Medidas Eléctricas, D. José Ramírez Vázquez, Capítulo 2.
- [3]https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_de_las_osas

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad regional La Plata

- [4] <https://www.hpe.com/lamerica/es/what-is/industrial-iot.html>
- [5] <http://yeap.com.ar/>
- [6] <https://www.qibixx.com/en/>
- [7] <http://www.netvox.com.tw/>
- [8] <https://ubidots.com/>
- [9] Medición de Potencia en Corriente Alternada
– Juan Carlos Gonzales
- [10]
- [11] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7758.pdf>
- [12] Datasheet ADE7758 – pág. 60