

Sistema de Medición de Potencia Inalámbrico para Carga Trifásica

Carlos Bustos
Cátedra de Máquinas Eléctrica
Departamento de Sistemas de
Información, UTN-FRLP
La Plata, Buenos Aires, Argentina
carbus1982@gmail.com

Omar E. Rodríguez
CODAPLI
Departamento de Sistemas de
Información, UTN-FRLP
La Plata, Buenos Aires, Argentina
orodriguez@frlp.edu.ar

Héctor Hugo Mazzeo
CODAPLI
Departamento de Sistemas de
Información, UTN-FRLP
La Plata, Buenos Aires, Argentina
hugo.maz@frlp.utn.edu.ar

Marcelo Zabaljauregui
CODAPLI
Departamento de Sistemas de
Información, UTN-FRLP
La Plata, Buenos Aires, Argentina
mzabaljauregui@gmail.com

José A. Rapallini
CODAPLI
Departamento de Sistemas de
Información, UTN-FRLP
La Plata, Buenos Aires, Argentina
rapalini@frlp.utn.edu.ar

Guillermo Cocha
CODAPLI, TSSE, Departamento
Electrotecnia, UTN-FRLP
La Plata, Buenos Aires, Argentina
gcocha@frlp.utn.edu.ar

Abstract—Este trabajo de fin de grado comprende el desarrollo e implementación de un sistema de medición y control de potencias activas y reactivas en cargas eléctricas trifásicas. El objetivo es medir y controlar el estado de consumo de determinada carga en tiempo real en forma económica, rápida y sencilla, contribuyendo además a controlar el consumo de potencia contratado por un gran consumidor para no exceder los límites y ser multado. O bien para controlar la potencia reactiva y no tener un factor de potencia por debajo de 0,85, evitando así posibles sanciones económicas.

La metodología consiste en medir una tensión proporcional a la transmitida a la carga para acondicionarla y luego procesarla digitalmente mediante un circuito microcontrolado. Una etapa de control interpreta esa información y presenta en pantalla el estado de consumo de potencia de las distintas cargas. Los datos provenientes del microcontrolador son enviados por medio de un dispositivo de transmisión inalámbrico conectado a la red interna de wifi, con posibilidad de transmitir 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, imágenes y gráficos de la interfaz de control por pantalla y tablas comparativas de mediciones confrontadas con un medidor patrón, con indicación de errores absolutos y relativos.

Keywords—trifásico, potencia, microcontrolador, wifi

I. INTRODUCCIÓN

La medición de potencia es una técnica para determinar el consumo de energía eléctrica en un circuito, servicio eléctrico o simplemente en un determinado equipo. También es parte del proceso de distribución eléctrica y permite calcular el costo de la energía consumida con fines domésticos y comerciales.

La medición eléctrica comercial se realiza mediante el uso de un medidor de consumo o contador eléctrico. Los parámetros que se miden en una instalación son el consumo en kilowatt-hora, la demanda pico, la demanda resto, la demanda valle, la demanda punta, la demanda fuera de punta, el factor de potencia y en casos especiales, la aportación de

ruido eléctrico o componentes armónicos a la red de la instalación o servicio medido.

La tecnología utilizada en el proceso de medición eléctrica debe permitir determinar el costo de la energía que el usuario consume de acuerdo a políticas de precio de la empresa distribuidora de energía, considerando que la electricidad tiene costos de producción diferentes dependiendo de la región, época del año, horario del consumo, hábitos y necesidades del usuario.

El auge de los dispositivos de control modernos conectados a Internet y el abaratamiento de instrumentos de medición de buena precisión permiten realizar equipos de control de potencia en tiempo real sobre diversas cargas en tiempo real, distribuidos en espacios amplios o distantes entre sí. Esto contribuye a controlar el consumo de potencia contratada por un gran consumidor para no exceder los límites establecidos y estar expuesto a multas. O para controlar la potencia reactiva a fin de no tener un coseno ϕ inferior a 0,85, lo que también puede ser sancionado.

Además, poder controlar las horas de funcionamiento y la potencia a que estuvo en marcha esa carga -entre otras cosas- permite evaluar el rendimiento de procesos productivos.

Para la medida de la potencia en un sistema trifásico se utilizan distintos métodos en función del tipo de la carga y de la conexión de la misma.

En un sistema trifásico a 4 hilos la potencia activa consumida será la suma de las potencias consumidas en cada fase (Fig. 1).

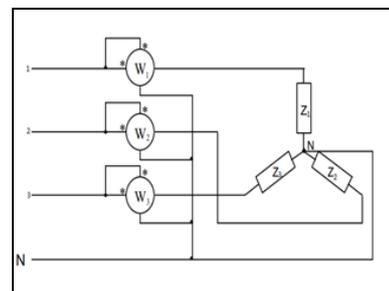


Fig. 1. Medición de potencia activa en sistema trifásico a 4 hilos

La lectura de los vatímetros será:

$$P_{w1} = \bar{I}_1 \cdot \bar{V}_1 = I_1 \cdot V_1 \cdot \cos\phi_1 \quad (1)$$

$$P_{w2} = \bar{I}_2 \cdot \bar{V}_2 = I_2 \cdot V_2 \cdot \cos\varphi_2 \quad (2)$$

$$P_{w3} = \bar{I}_3 \cdot \bar{V}_3 = I_3 \cdot V_3 \cdot \cos\varphi_3 \quad (3)$$

Por lo que la potencia activa del sistema completo será:

$$P = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3} \quad (4)$$

Si se trata de un sistema equilibrado, los tres vatímetros tendrán la misma lectura. En tal caso basta con utilizar un solo vatímetro siendo la potencia activa total:

$$P = 3 \cdot P_w \quad (5)$$

II. DESARROLLO

Para lograr la medición de potencia consumida se utilizaron un divisor de tensión y un transformador de intensidad a fin de generar una tensión proporcional a la transmitida a la carga. Esta tensión, luego de acondicionarla y procesarla digitalmente a través de un DSP (Digital Signal Processing) de alta exactitud, es ingresada a una tarjeta Arduino I. La información obtenida es enviada por medio de un dispositivo de transmisión inalámbrico conectado a la red interna de wifi, con posibilidad de transmitir los resultados de las mediciones en forma remota.

Podemos describir el sistema identificando cuatro etapas según se muestra en la Fig. 2:

- **Etapa de sensado:** con el TI y el divisor de tensión se reducen las magnitudes para que el DSP -un circuito ADE7758- pueda recibir esa información en forma que no lo perjudique ni destruya.
- **Etapa de cálculo:** mediante algoritmos internos el ADE7758 calcula y luego transmite por SPI a la Arduino las potencias obtenidas.
- **Etapa de comunicación:** los datos recibidos por el ATmega328P de la Arduino provenientes del ADE7758 serán enviados por medio del 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 las distintas cargas.

El sistema se alimenta de la propia tensión que utiliza para medir, no afectando a la carga ni a la propia medición ya que es muy baja -250 mA de promedio- y está conectada previamente a la medición de corriente, desafectando el consumo de la medición en el TI.

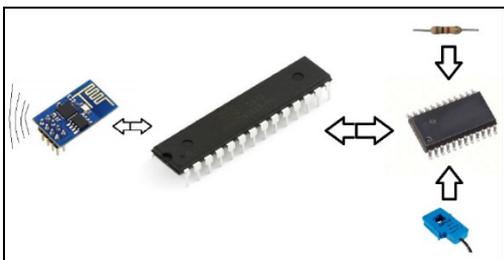


Fig. 2. Esquema del sistema con sus elementos principales

Se colocó una fuente de 220V AC a 5V DC en la misma placa PCB -realizada por medio del software PCB Wizard-,

una por cada equipo de medición, en donde se integraron todos los elementos mencionados.

Otras tareas complementarias que se realizaron para alcanzar el objetivo principal consistieron en:

- Diseño y fabricación de una placa PCB para los integrados ADE7758 y ATmega328P y el slot para colocar el ESP8266.
- Lograr comunicación entre los 2 integrados por medio de SPI.
- Desarrollar un sketch de Arduino para obtener las mediciones del ADE7758 y luego transmitir las vía Wifi.
- Lograr una medición por debajo del 3% de error.
- Desarrollar una aplicación que pueda leer lo transmitido por la ATmega328P, analizarlo y almacenarlo, pero sobre todo mostrar en tiempo real las potencias W, RVA y VA.
- Lograr un diseño compacto y económico.
- Cumplir condiciones importantes en un ambiente de trabajo tales como bajo consumo de energía y alta autonomía.

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

A. Etapa de sensado.

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 de 100 A máximo a 50 mA máximo.

Para nuestro trabajo se seleccionó el TI SCT013 (Fig. 3) que tiene una relación de 100A:0,05A con una aislación dieléctrica de 1000V. Con un error del 3% (clase 3) dentro del rango de medición 0A a 100A.

Esta etapa proporciona al integrado ADE7758 información dentro de sus capacidades, es decir, dentro de su rango de medición.

B. Etapa de Cálculo.

El ADE7758 es un DSP de muy alta exactitud, especializado en la medición de energía eléctrica, con capacidad de medir 3 fases además de poseer una interfaz de comunicación serial y dos salidas de pulsos.

Como características generales, el ADE7758 posee un ADC (Analog to Digital conversor), $\Sigma-\Delta$ de segundo orden, 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. En él se pueden distinguir dos etapas principales:

B. 1. Etapa de Entrada

La primera etapa del DSP la constituyen seis entradas analógicas divididas en dos canales: Corriente y Voltaje. Cada una de ellas acepta hasta un voltaje máximo diferencial de $\pm 0,5$ voltios. Cada señal pasa a un ADC $\Sigma-\Delta$ de 16 bits que muestrea y digitaliza la señal.

Luego pasa por un filtro pasa bajo para eliminar el ruido y el efecto de "aliasing" producido por el muestreo de señales.

B.2. Etapa de Procesamiento

El valor eficaz de una señal eléctrica AC se define como la cantidad de una señal constante DC en el tiempo, requerida para producir una cantidad equivalente de potencia en la carga. Matemáticamente se define como:

$$FRMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} \quad (6)$$

El método que utiliza el ADE 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 LPF 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:

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot VRMS \cdot \text{sen}(wt) \quad (7)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot IRMS \cdot \text{sen}(wt - \varphi) \quad (8)$$

Cuando hallamos el producto obtenemos:

$$p(t) = IRMS \cdot VRMS \cdot \cos(\varphi) - IRMS \cdot VRMS \cdot \cos(2wt - \varphi) \quad (9)$$

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

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt = IRMS \cdot VRMS \cdot \cos(\varphi) \quad (10)$$

C. Etapa de comunicación.

C.1. Comunicación SPI

La última etapa del ADE es la etapa de salida. Ésta consta de un puerto de comunicación serial SPI, una salida de aviso de interrupciones y dos salidas de pulsos, una con información de la potencia activa y otra con información sobre la potencia reactiva.

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 dispositivo (CS), como se observa en la Fig. 3.

La dependencia que representa el dispositivo en la comunicación es tal que, para que ésta sea realmente efectiva, es necesario que el ente maestro (el ATmega328P en nuestro caso) habilite el dispositivo mediante la señal de selección, active la señal del reloj y comience la comunicación realizando alguna petición.

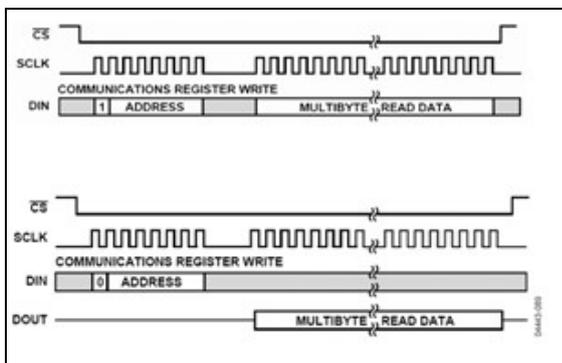


Fig. 3. Diagramas para escritura/lectura del registro

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 representa la operación a realizar sobre el registro en cuestión (el primero) y la dirección de dicho registro (el resto). 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 varios trozos.

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 la Fig. 3 se pueden apreciar los diagramas de tiempo correspondientes a la escritura/lectura de un registro.

C.2. Comunicación Wifi.

C.2.1. Placa Arduino

Para el diseño de nuestro prototipo se ha escogido una Arduino I con el microcontrolador ATmega328P de Atmel. 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.

C.2.2. Conexión Wifi

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) tanto para transmitir como para recibir datos.

Como se ve en la Fig. 4, conectamos el shield ESP8266 en los pines digitales 2 y 3 del Arduino y lo trabajamos con comandos AT para poder configurar el Wifi y enviar los datos.

Utilizamos un router inalámbrico para generar la red Wifi y para que nuestro dispositivo se conecte a la misma tal como se muestra en la Fig. 5.

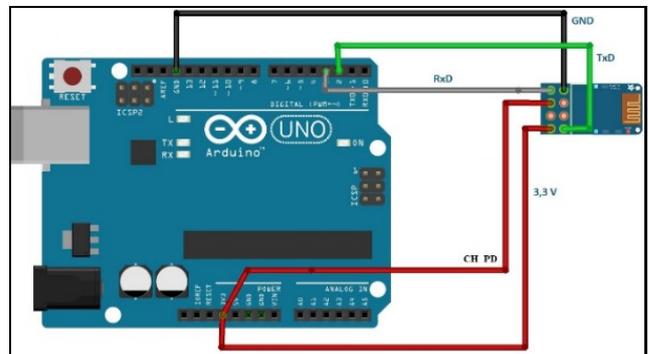


Fig. 4. Conexión del shield ESP8266 a la Arduino

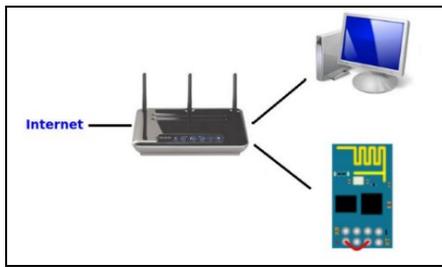


Fig. 5. Red Wifi generada con el router inalámbrico

D. Etapa de control.

En esta etapa se requiere guardar datos de lo que transmite el dispositivo y tener la posibilidad de visualizarlos en tiempo real en forma sencilla para conocer el estado de la carga y tomar decisiones.

La herramienta desarrollada a través de la plataforma para IoT “Ubidots” permite capturar datos del entorno (temperatura, energía, cuánta gente pasa por un lugar, etc.) y convertir esos datos en indicadores. Este servicio se encuentra en Internet. Lo que hacemos es conectar nuestro equipo a esta página y mediante una estructura de datos, enviamos las variables relevadas a la nube. Se utiliza la versión educacional, que más allá de sus limitaciones es suficiente para el proyecto.

Este sistema solo puede almacenar y visualizar las variables, mostrar en tiempo real el valor y referenciar entre qué valores puede estar -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.

III. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO.

1. PCB Wizard

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

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. 6- se pudo verificar la comunicación logrando obtener la temperatura que sensaba el ADE7758 y luego, conectado el TI, la 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.

Se bajaron varios sketches desde Internet que estaban con errores, por lo que se los corrigió y adaptó a nuestro proyecto. Por esto el código cuenta con librerías propias para poder simplificar el código principal.

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



Fig. 6. Placas PCB correspondientes al primer prototipo construido

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 corriente). Fue muy difícil, ya que no se encuentra mucha documentación sobre el envío de los datos a una base de datos vía comandos AT por el ESP8266. Además, se encontraron conflictos con la memoria dinámica y el largo de los 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.

Con mucho esfuerzo, tiempo, investigación y pruebas se logró que Ubidots reciba los datos y grafique en el panel (Fig. 7).

6. Ensayo de mediciones y correcciones.

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 real.

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.

TABLE I. MEDICIÓN CON FACTOR DE POTENCIA = 1

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

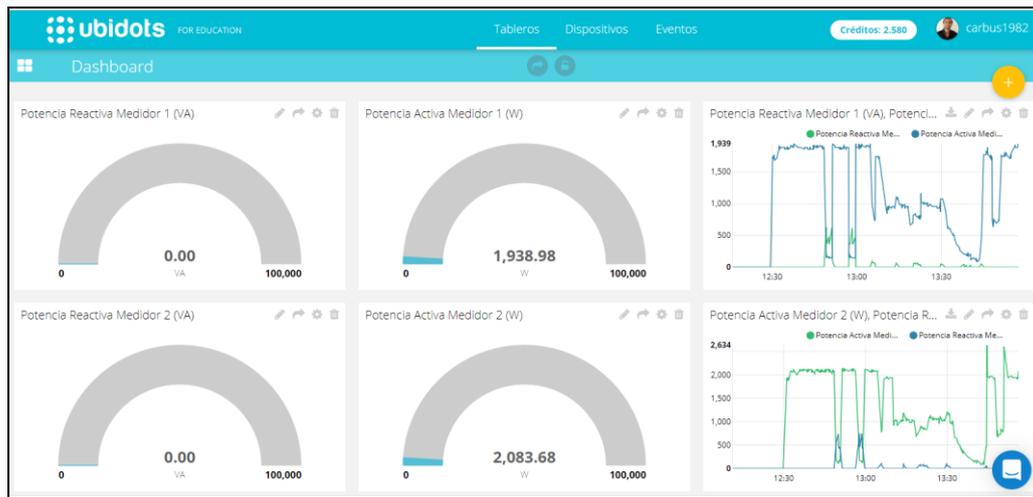


Fig. 7. Panel de Ubidots mostrando los datos correspondientes a la aplicación

Como se observa, ya que el objetivo fue verificar la variación del error según cambia el desfase entre la corriente y la tensión, esto sería lo que más afecta al error que introducen los TI y el mismo ADE7758. 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 de este trabajo de grado. Además de no calibrar ni adecuar los registros del integrado medidor de energía.

TABLE II. MEDICIÓN CON FACTOR DE POTENCIA = 0.5

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

IV. CONCLUSIONES

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

La idea básica del diseño fue lograr un equipo compacto, capaz de proveer información inalámbricamente a cualquier lugar remoto. En gran medida se lograron implementar con éxito las funciones necesarias para establecer la comunicación entre Ubidots, tener una medición confiable y adaptabilidad a cualquier carga en la que se desea medir su consumo.

La potencia máxima que se puede llegar a medir con el sistema es de aproximadamente 22.000 VA, valor que surge del producto de la tensión eficaz de 220 V y una corriente de 100 A, intensidad máxima para la cual fue seleccionado el transformador de intensidad TI.

Como se indicó en la descripción de la etapa de sensado, por medio de un divisor de tensión se reduce la misma para poder ser procesada por el DSP. Por ser el primer prototipo realizado, no se hizo aún un estudio para evaluar la incertidumbre en el divisor de tensión, ya que requeriría un trabajo largo entre mediciones y cálculos.

Desde el punto de vista de la seguridad eléctrica, podrían agregarse optoacopladores de rápida repuesta para la comunicación con la PC y así aislar eléctricamente al mismo de posibles perturbaciones fuertes (entrantes por la red). Una medida de protección adicional sería incorporar fusibles nh de 100A para que se produzca la desconexión eléctrica cuando se supere la corriente máxima de medición. Estos fusibles lo protegerían además ante la posible caída de un rayo.

El uso de integrados programables como el ADE7758, ayuda a ahorrar gran cantidad de circuitería y de una interfaz de comunicación existente en gran cantidad de otros integrados. Restaría, para otra ocasión, corregir esos registros para reducir el error, adaptándolos a los errores introducidos por los TI especialmente.

El muestreo que lleva adelante el ADE7758 lo puede hacer en 3.250, 6.500, 13.000 o 26.000 muestras por segundo, según se configuren los registros de ese integrado, pero por default viene configurado para un muestreo máximo de 26.000 muestras por segundo. El ruido o armónicos no se tienen en cuenta ya que hacer el eficaz de la tensión y corriente, ya que este integrado tiene filtros pasabajos.

El ATmega328P resulta sumamente económico y fácil de usar, pero su memoria no ayudó cuando pasamos a la etapa

de transmisión vía Wifi. Con un sketch grande, muchas variables -algunas muy largas- 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 “tercerizaría” esta parte del desarrollo y quedaría como un “know how” total 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 pudiendo cargar una actualización de su sketch o revisar el estado del dispositivo y obtener una conexión mucho más ágil, rápida y segura.

Queda pendiente para un trabajo futuro hacer una evaluación de la lectura con carga variable entre los mínimos y máximos indicados en el punto B.2, lo cual debería hacerse en un laboratorio con instrumental adecuado.

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.

Más allá de todos los elementos y componentes utilizados en el equipo, también se aplicó un conocimiento desarrollado en el transcurso del tiempo, sea en el cursado de las diversas materias de la carrera o las logradas en el progreso de este trabajo. El conocimiento obtenido es uno de los puntos más importantes y uno de los objetivos buscados a través del Proyecto Final de Carrera.

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_cosas
- [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] <https://www.se.com/mx/es/work/products/product-launch/powerlogic-ion9000/overview.jsp>
- [11] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADE7758.pdf>
- [12] Datasheet ADE7758
- [13] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>
- [14] https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266_Datasheet_EN_v4.3.pdf
- [15] <https://es.scribd.com/doc/69364959/Pcb-Wizard>
- [16] <https://www.theengineeringprojects.com/2017/01/use-arduino-serial-flush.html>
- [17] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/watchdog/>