

Sistema embebido basado en el monitoreo de consumo de energía eléctrica de electrodomésticos para el control del gasto.

Embedded system based on the monitoring of electrical energy consumption of household appliances for cost control.

Paulina Díaz Pérez (1), Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, Tecnológico Nacional de México, diazpau@hotmail.com

Violeta Guadalupe Clemente Arce (2), Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, violetaguadalupe@hotmail.com

Jorge Amadeo Ortiz Muñiz (3), Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, jorgeamadeoom@gmail.com

Artículo recibido en octubre 30, 2018; aceptado en noviembre 12, 2018.

Resumen.

Un instrumento importante en la medición de energía eléctrica es el sensor de potencia que mide la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento determinado en un electrodoméstico; para monitorear el consumo de energía eléctrica para compararlo con las indicaciones de datos técnicos especificado y corroborarlo en los resultados que permita localizar problemas de consumo excesivo de corriente eléctrica. La presente investigación consiste en el diseño e implementación de un sistema embebido que monitorea la potencia, empleando el principio de inducción electromagnética (Bobinas) para diseñar el sensor de potencia, enviando dicha señal al nano-arduino basado en su programación para buscar el método más económico y eficaz, implementando los componentes electrónicos para enviarlo vía web, utilizando el ESP 8266 que trae integrado una dirección IP, para enviar el dato monitoreado a la página web.

Palabras clave: Sensor de potencia, inducción electromagnética, sistema embebido.

Abstract.

An important instrument in the management of electrical energy is the power sensor that measures the amount of energy delivered by a particular element in an appliance; for monitoring the consumption of electrical energy to compare with the indications of the technical data and corroborate it in the results that are problems of excessive consumption of electric current. The present investigation consists in the design and implementation of an embedded system that monitors the power, using the principle of electromagnetic induction (Coils) for the power sensor, sending the signal to the nano-arduino based on its programming to search the most economic and effective method, implementing the electronic components to send it by web, using the ESP 8266 that brings an integrated IP address to send to the page web.

Keywords: Power sensor, electromagnetic induction, embedded system.

1. Introducción.

Actualmente se ha vuelto imprescindible que las empresas, edificios o cualquier organización cuente con un sistema de monitoreo de consumo eléctrico en las diferentes áreas críticas de funcionamiento.

La información del comportamiento actual de nuestra red eléctrica la generará el sistema de monitoreo de energía, esta información nos ayudará a tomar decisiones para la prevención de fallas que ocasionen el corte parcial o prolongado en áreas críticas, así mismo se podrá diagnosticar que líneas de la red está consumiendo demasiada energía y con base a ello, podemos mejorar nuestra red a partir de esta información, también nos ayuda a administrar mejor nuestras cargas y reducir costos de facturación.

Los sensores de corriente más comúnmente utilizados en medidores de energía son: sensores basados en el efecto Hall, Transformadores de corriente, Resistencias Shunt, Bobinas Rogowski (Armijos & Pesántez, 2016).

La bobina rogowski por poseer un núcleo de aire o de material no magnético le brinda linealidad y baja inductancia; es decir, pueden trabajar en un amplio ancho de banda y medir corrientes muy grandes gracias a su comportamiento sin saturación y pueden responder a tiempos de subida de pocos nanosegundos y entregar una salida proporcional a la derivada temporal de la corriente. También, este tipo de núcleo permite diseñar bobinas más delgadas y flexibles, lo que permite un mayor y fácil uso, sin embargo necesitan un circuito integrador a la salida para obtener una respuesta proporcional a la corriente y no son sensibles a corrientes muy pequeñas (Rojas, 2011).

Bajo esta premisa, nos dimos a la tarea de crear un sensor de potencia usando una bobina rogowski la cual es un transformador de corriente, consiste básicamente en una bobina con núcleo de aire de forma toroidal circulando la corriente a medir. Su uso como medidor de corrientes variables en el tiempo fue planteado por Rogowski y Steinhaus. Se basa, en que la corriente que se pretende medir crea un campo magnético alrededor del conductor por el que circula. Al situar la bobina rodeando este conductor, el campo magnético induce una diferencia de potencial entre los extremos de la bobina (Argüeso, 2005).

Después se desarrolló el algoritmo para conectar el sensor de potencia con el arduino y el ESP 8266 para enviar el monitoreo del sensor a una página web en tiempo real.

2. Métodos.

2.1 Diseño del medidor de potencia.

Para poder desarrollar el medidor de potencia, se buscó la bobina de rogowski a utilizar, en este caso se optó por una bobina T9B032 FALCO transformador de potencia a 5A/2mA -2500:1 (ver Fig. 1) y sus características son las siguientes:

- ACD de la gama actual de 20-150 (hasta 480 amps pico).
- Precisión Clase 1 IEC 10636 Transformador medidor de potencia electrónica.
- Error de amplitud es inferior a 0.1%.
- Error del ángulo de fase es inferior a 1%.
- Tensión nominal de 120/50/60 Hz AC.
- Clase térmica 130 °C.
- Acabado de resina epoxi.

Las ventajas del medidor de potencia electrónica: precisa, rápida adquisición de datos, control remoto y programación de pre-pago.



Figura 1. Bobina T9B032

Diagrama de conexión.

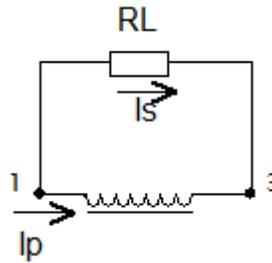


Figura 2. Diagrama de conexión de Bobina T9B032

El diseño del transformador quedó de la siguiente manera:

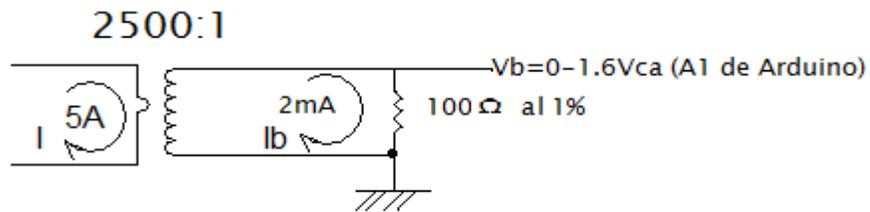


Figura 3. Transformador

Se obtiene la ecuación 1:

$$V_b = I_b(100\Omega) \quad (1)$$

Relación de transformación:

$$\frac{I}{I_b} = 2500$$

Despejando I_b obtenemos la ecuación 2:

$$I_b = \frac{I}{2500} \quad (2)$$

Sustituyendo ecuación 2 en ecuación 1

$$V_b = \frac{I}{2500}(100\Omega) = 0.04 I \quad (1)$$

$$V_b = 0.04I \quad (1)$$

Despejando a I (corriente) queda la ecuación de la siguiente manera:

$$I = 25V_b \quad (2)$$

$$V_b = 0.04 I \quad (1)$$

2.2 Integración del sensor de potencia con el nano-arduino.

Por diseño del circuito en la placa, era más factible poner la salida del V_b en el pin analógico A6, como se ve en la siguiente figura.

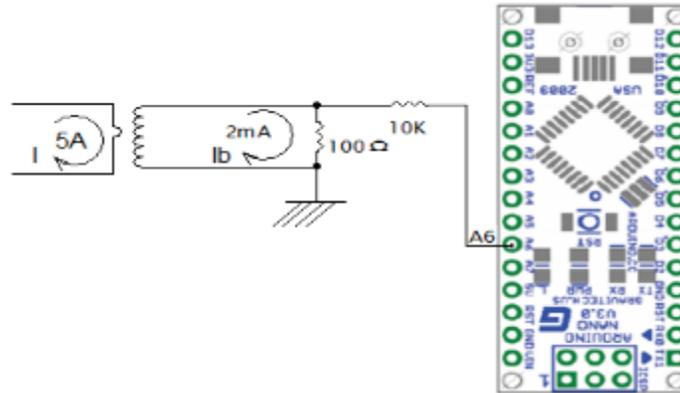


Figura 4. Sensor de potencia conectado al nano-arduino.

2.3 Integración del sensor de potencia con el nano-arduino y el ESP8266.

Consultamos la definición de los pines del nano-arduino en el manual de arduino (Thayer Ojeda, 2012) y en el datasheet del ESP8266 (www.espressif.com, 2018), consultamos la configuración de pines de este, para la integración del nano-arduino con el ESP8266, como se muestra en la siguiente figura.

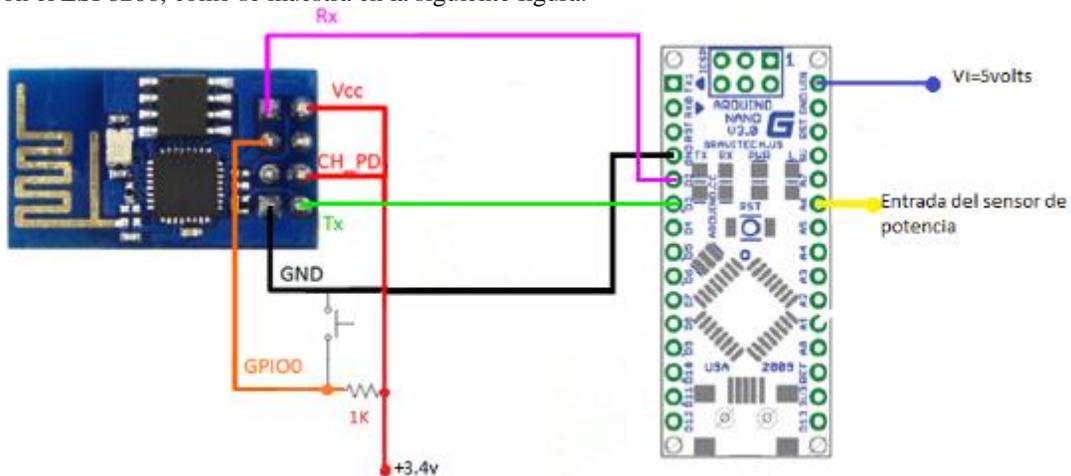


Figura 5. Integración del ESP-8266 con arduino nano

Para enviar la entrada del sensor de potencia, se configuró el ESP8266 con el arduino nano como lo muestra en la figura 5; este se configuró mediante los comandos AT.

2.4 Diagrama de flujo de la aplicación.

Diseño de la app (aplicación para que se pueda ver en la página web).

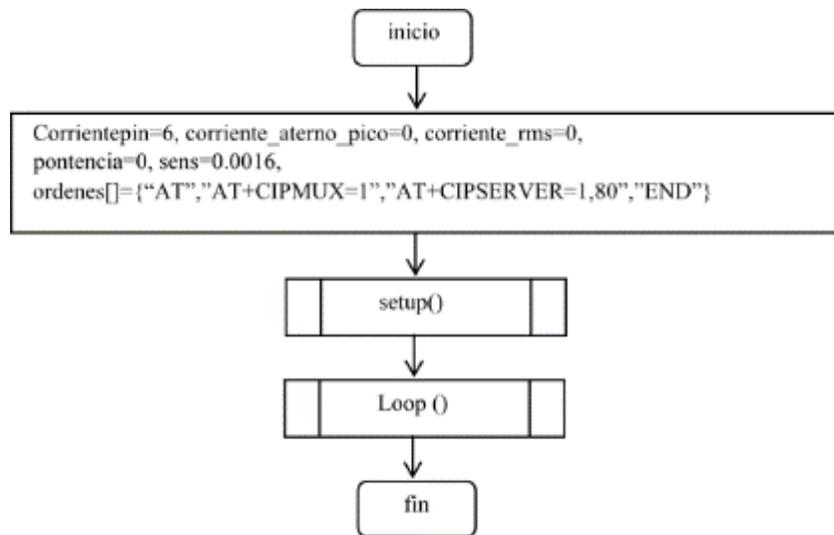


Figura 6. Diagrama de flujo de la aplicación del nano-arduino con el ESP-8266

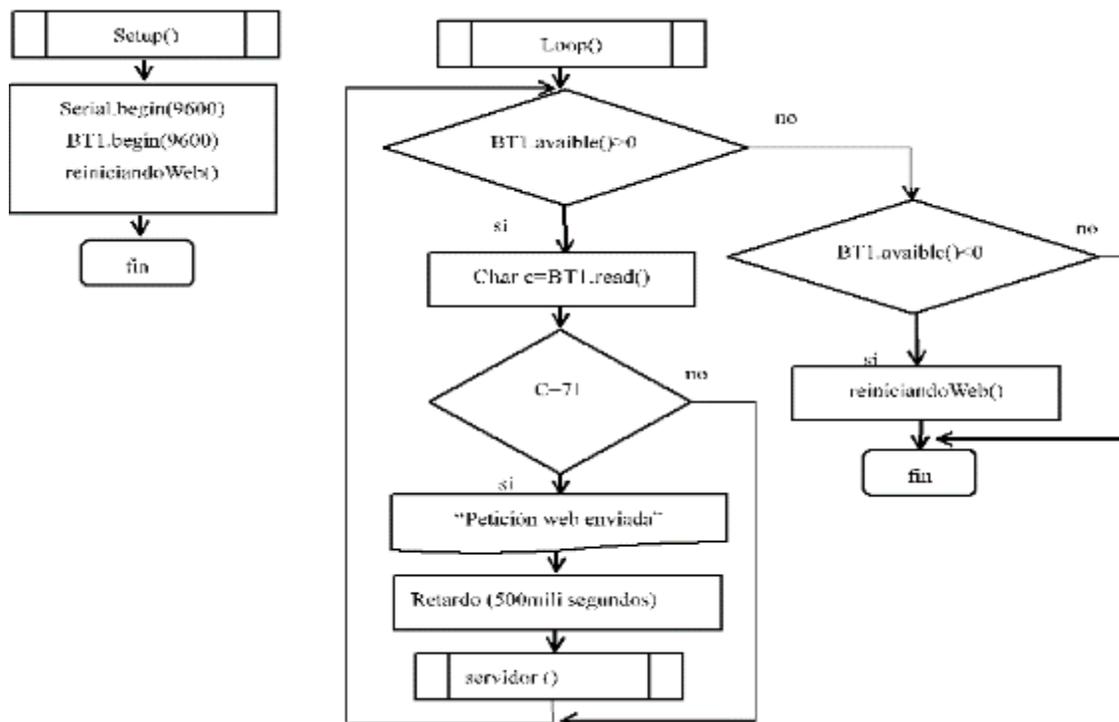


Figura 7. Función Setup () y Loop().

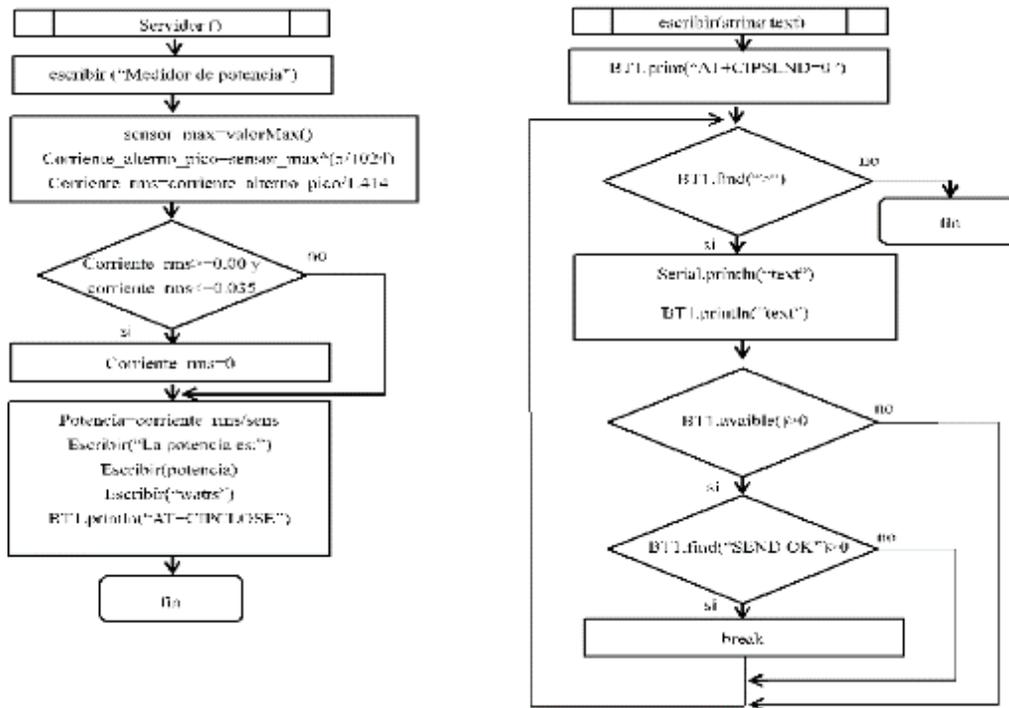


Figura 8. Función Servidor () y escribir().

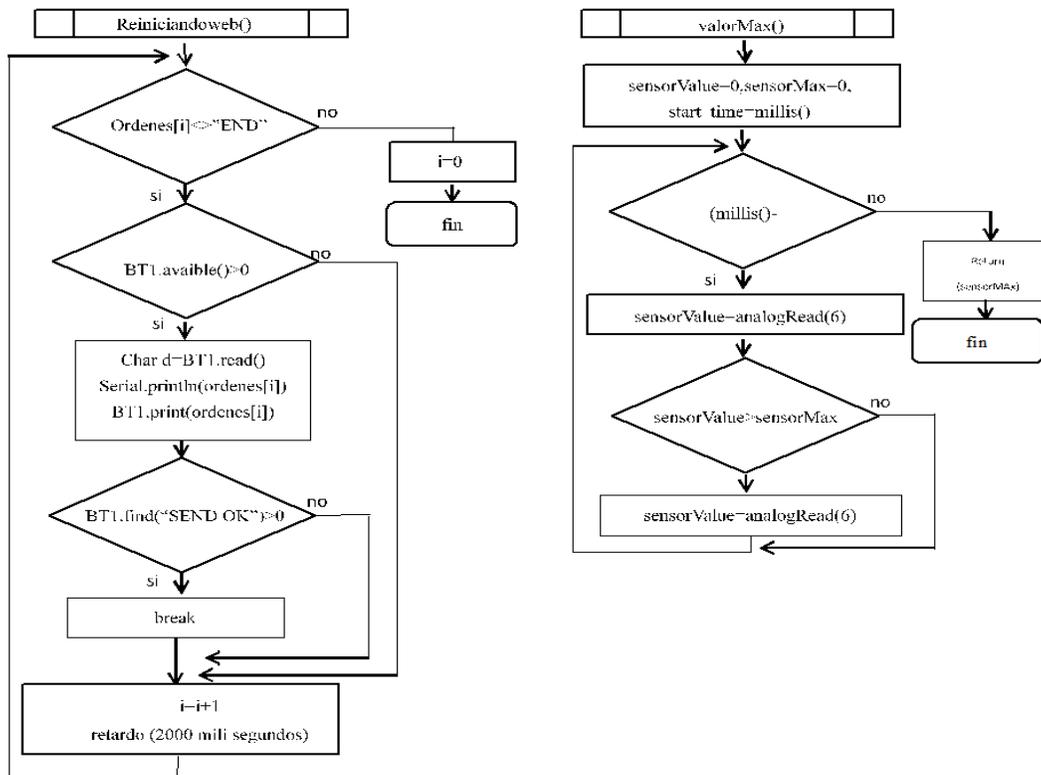


Figura 9. Función Reiniciandoweb () y valorMax().

3. Desarrollo.

3.1 Valores del sensor de potencia.

Al enviar el valor analógico de $V_b = 0.041$ al pin A6 (ver Fig. 4) del nano-arduino que viene de nuestro sensor de potencia, nos arrojó los siguientes datos:

Tabla 1. Datos del Voltaje Vb

Potencia Física	Vb
100 W	0.03
200 W	0.06
300 W	0.09
400 W	0.12
500 W	0.15
600 W	0.18
700 W	0.21
800 W	0.23
900 W	0.27
1000 W	0.30

Se observó que por cada 100W el voltaje incrementaba 0.03 volts; si sacamos la sensibilidad o relación que se encontró de V/W fue de $\frac{0.03V}{100W} = 0.0003$. Es decir, 1Watts=0.0003volts.

Al observar que el voltaje máximo el 0.48, este es muy bajo y al enviar la señal directamente al Arduino, hubo una caída del voltaje, por tal motivo, se decidió agregarle un amplificador para aprovechar la precisión del sensor de voltaje y así obtener el máximo de eficiencia, cambiando el voltaje de 0.48 a 2.2256 Volts.

Cálculos del diagrama del amplificador inversor.

Se observa que del amplificador inversor se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_o = -V_i \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

Fórmula que nos indica que la tensión de salida V_o es la tensión V_i multiplicada por una ganancia R_2/R_1 . El signo negativo de la expresión indica la inversión de fase entre la entrada y salida.

Observamos que el voltaje de entrada V_i y el voltaje del sensor V_b es lo mismo, entonces:

$$V_i = V_o, \text{ donde } V_i = 0.48 \text{ volts}$$

Sustituyendo en la ecuación 3,

$$V_o = -0.48 \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

Proponiendo que a $R_1 = 10K$ y $R_2 = 47K$, entonces sustituimos y obtenemos:

$$V_o = -0.48 \frac{47K}{10K} \quad (3)$$

$$V_o = -0.48 \left(\frac{47}{10} \right) \quad (3)$$

$$V_o = -0.48(4.7) \quad (3)$$

$$V_o = -2.256 \text{ Volts}$$

La ganancia quedaría expresada en la ecuación 4 de la siguiente manera:

$$G = -\frac{R_2}{R_1} \quad (4)$$

$$G = -\frac{47K}{10K} = -4.7 \quad (4)$$

Al ponerle el amplificador se obtiene una ganancia de $G=4.7$, quedando el circuito de la siguiente manera:

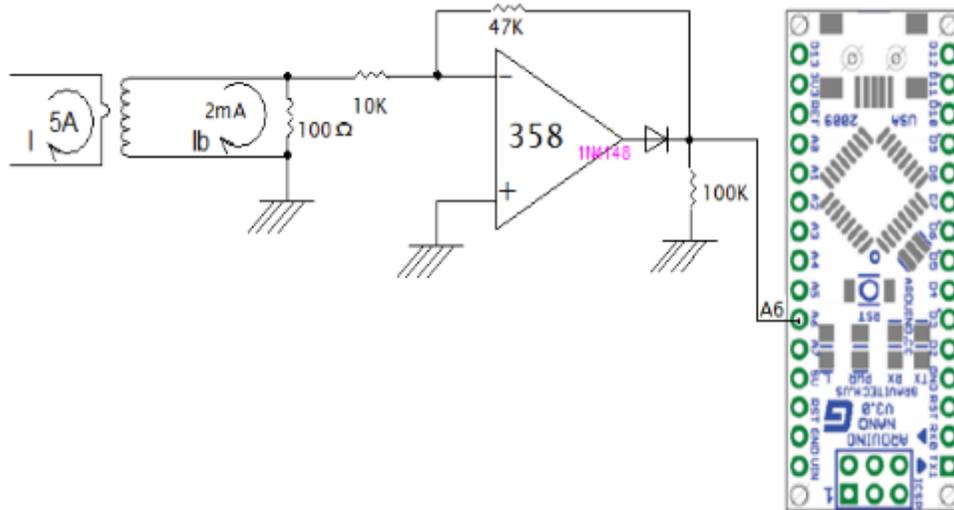


Figura 10. Integración del Sensor de potencia con su amplificador y el arduino nano

Al enviar el valor analógico de V_b al pin A6 del arduino nano con la $G=4.7$, nos arrojó los siguientes datos:

Tabla 2. Datos del Voltaje V_b .

Potencia Física	V_b
100 W	0.14
200 W	0.28
300 W	0.42
400 W	0.56
500 W	0.70
600 W	0.84
700 W	0.98
800 W	1.12
900 W	1.26
1000 W	1.40

Se observó que por cada 100W el voltaje incrementaba 0.14 volts; si sacamos la sensibilidad o relación que se encontró de V/W fue de $\frac{0.14V}{100W} = 0.0014$. Es decir 1Watts=0.0014volts.

Por diseño del circuito en la placa, era más factible poner la salida del V_b en el pin analógico A6 como se mostró anteriormente en la figura 4.

3.2 Código de la unión del sensor de potencia, nano-arduino y el ESP-8266.

Se dispuso a realizar el código para unir el nano-arduino con el ESP-8266 para que funcione la aplicación web con el sensor de potencia.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT1(3, 2); // RX | TX
int n1,i=0;
float temp;

//variables del wattimetro
int corrientePin = 6;
int ledPin = 13;

float corriente_alterno_pico = 0.0;
float corriente_rms = 0.0;
float potencia = 0;
float sens = 0.0016;
float kilow = 0;
float kilowatthora = 0;
////////////////////

String ordenes[]=
{
  "AT",
  "AT+CIPMUX=1",
  "AT+CIPSERVER=1,80",
  "END" // Para reconocer el fin de los comandos AT
};

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  BT1.begin(9600);
  reiniciandoWeb();
}

void loop()
{
  while (BT1.available() > 0 )
  {
    char c = B
    T1.read();
    if (c == 71)
    {
      Serial.println("peticion web enviada");
      delay(500);
      servidor();
    }
  }
}

//este código es para hacer la función

if(BT1.available(< 0 )
  reiniciandoWeb();
}

void escribir(String text)
{
  BT1.print("AT+CIPSEND=0,");
  BT1.println(text.length());
  if (BT1.find(">")) // Si se recibe el mensaje
  {
    Serial.println(text);
    BT1.println(text); //mandamos el mensaje por el wifi
    delay(10);
    while ( BT1.available() > 0 )
    {
      if ( BT1.find("SEND OK")) //buscamos "ok" y luego salimos
        break;
    }
  }
}
```

```

void servidor(void)
{
  escribir("<html>"); //una página web necesita esto <HTML> y </HTML> es el inicio y fin del documento
  escribir("<head><title>lm35 arduino esp8266 html</title>"); //nombre de la pestaña que llevará la página
  escribir("<meta http-equiv='refresh' content='5'></head>"); //tiempo para refrescar la página web
  //instrucciones del sensor de potencia
  int sensor_max;

  sensor_max = valorMaxI(); //llama la función, valor más alto de corriente

  corriente_alterno_pico = (float)sensor_max * (5 / 1024.0);
  corriente_rms = corriente_alterno_pico / 1.414;

  if (corriente_rms >= 0.00 && corriente_rms <= 0.035 )
    corriente_rms = 0.00;

  potencia = corriente_rms / sens; //watts
  kilow = potencia / 1000; //KW
  kilowatthora = kilow * 1; // kilowatthora KWH
  //-----
  //Serial.print("corriente:");
  //Serial.println(corriente_rms*1000);
  analogWrite(13,potencia);
  Serial.print(potencia);
  Serial.println(" watts ");
  Serial.print(kilow);
  Serial.println(" KW ");
  Serial.print(kilowatthora);
  Serial.println(" Kilo-Watts-Hora ");
  //-----
  //////////////////////////////////////
  delay(1000);
  escribir("<FONT FACE='Arial' SIZE='5' COLOR='blue'> la potencia es </FONT>");
  //escribimos y cambiamos el tamaño, letra y color
  escribir(String(potencia)); //imprimimos la variable
  escribir(" WATTS <br> <br>");
  escribir("</html>");
  delay(1);
  BT1.println("AT+CIPCLOSE=0");
  delay(1000);
}

void reiniciandoWeb()
{
  while(ordenes[i]!="END")
  {
    if(BT1.available() >0 )
    {
      char d = BT1.read();
      Serial.println(ordenes[i]);
      BT1.print(ordenes[i]);
      if(BT1.find("SEND OK"))
        break;
    }
    i++;
    delay(2000);
  }
  i=0;
}

//Funciones del sensor de potencia
int valorMaxI()
{
  int sensorValue;
  int sensorMax = 0;
  uint32_t start_time = millis();
}

```

```
while ((millis() - start_time) < 1000)
{
  sensorValue = analogRead(6);
  if (sensorValue > sensorMax)
  {
    sensorMax = sensorValue;
  }
}
return sensorMax;
}
```

Conclusiones.

Se obtuvo un medidor de potencia, en el cual se utilizaron resistencias de precisión, para obtener un 95% de precisión en la medición, para realizar dicho medidor de potencia, se buscó obtener un medidor mono fase, motivo por el cual se hicieron los cálculos para obtener el voltaje máximo de 0.48, al enviar la señal directamente al Arduino, se observó que hubo una caída del voltaje, por tal motivo, se decidió agregarle un amplificador para aprovechar la precisión del sensor de voltaje y así obtener el máximo de eficiencia, por ello al hacer nuevamente los cálculos se obtuvo una ganancia $G=4.7$, logrando así que la señal del voltaje se ampliará a 2.2256 Volts.

Así mismo, Se observó que por cada 100W el voltaje incrementaba 0.14 volts; si sacamos la sensibilidad o relación que se encontró de V/W fue de $0.14V/100W=0.0014$. Es decir $1Watts=0.0014volts$. Con base a dicha relación se procedió a hacer la calibración para la entrada del sensor, las lecturas de los sensores durante los primeros cinco segundos de ejecución definen el mínimo y el máximo de los valores esperados unidos a la clavija del sensor, en el caso de nuestro sensor se le dio 1 segundo para buscar el valor máximo y mínimo del sensor, después arroja este valor mediante la interfaz serial del Arduino.

También se configuró el ESP-8266 usando comandos AT, como se conectó al Arduino, se tuvo que configurar a una velocidad de 9,600 y sincronizar el dato que envía el sensor de potencia por medio de la dirección IP a la página web, para ello se tuvo que configurar el servidor de la página web como se muestra en el apartado de desarrollo, en donde se tiene una función de servidor.

Créditos.

Al Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa por financiamiento parcial de éste proyecto.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al cuerpo académico “Tecnología Computacional para el desarrollo regional”, con clave: ITTUXG-CA-4, en donde el líder es el Dr. Héctor Guerra Crespo de la carrera de Ingeniería en Sistemas computacionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, por el apoyo otorgado en la realización de este proyecto.

Referencias Bibliográficas.

Argüeso, M. M. (2005). *Estudio de una bobina de Rogowski como zonda detectora de pulsos de alta frecuencia*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.

Armijos, A. J., & Pesántez, A. Á. (2016). *Diseño de un medidor inteligente con funciones de respuesta a la demanda en infraestructuras de medición avanzada*. Ecuador: Universidad Cuenca.

Rojas, M. M. (2011). *Sensor de acoplamiento inductivo para la medida de pulsos de corriente de alta frecuencia. Aplicación para la medida y detección de descargas parciales*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

Thayer Ojeda, L. (2012). Mapa de puertos. En L. Thayer Ojeda, *Manual Usuario de Arduino Energy Shield* (pág. 10). Santiago, Chile: MCI Ltda.

www.espressif.com. (24 de 09 de 2018). Obtenido de *www.espressif.com*: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf

Información de los autores.



Paulina Díaz Pérez, es Doctora en Educación por la Universidad del Sur, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en 2015, actualmente es profesora investigadora en el área de Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, pertenece al cuerpo académico “Tecnologías Emergentes”, Cultiva la línea de investigación “Desarrollo tecnológicos”, su área de interés es el Internet de las cosas.



Violeta Guadalupe Clemente Arce, es egresada del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez como Ingeniera en Sistemas computacionales en el año 2005, con Doctorado en Educación por la Universidad Privada del Sur de México, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en 2016, actualmente es profesora investigadora en el área de Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, pertenece al cuerpo académico “Tecnologías Emergentes (ITESCINTA-CA-1)”, Cultiva la línea de investigación “Desarrollo tecnológicos”.



Jorge Amadeo Ortiz Muñiz, es graduado como Ingeniero en Sistemas Computacionales del Instituto de Estudios Superiores de Chiapas, es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa, miembro del cuerpo académico “Tecnologías Emergentes” (ITESCINTA-CA-1), LIADT que cultiva el empleo de las tecnologías para elevar el nivel económico de la región, colabora en la línea “Internet de la Cosas IoT”. Su área de interés es el desarrollo de software.