

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



## **Medidor doméstico de consumo eléctrico no invasivo**

**Trabajo de graduación presentado por Edgar Alexander Alvarez Sandoval  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica.**

**Guatemala**

**2014**



## **Medidor doméstico de consumo eléctrico no invasivo**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

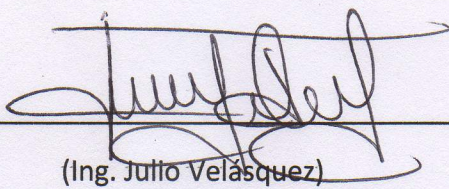
**Medidor doméstico de consumo eléctrico no invasivo**

**Trabajo de graduación presentado por Edgar Alexander Alvarez Sandoval  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica.**

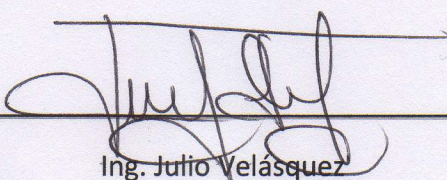
**Guatemala**


**2014**

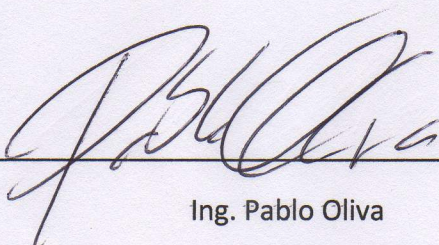
Vo. Bo.:

(f)   
(Ing. Julio Velásquez)

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Julio Velásquez

(f)   
Ing. Roberto Delgado

(f)   
Ing. Pablo Oliva

Fecha de aprobación: Guatemala 14 de Enero, del 2014

## PREFACIO

Doy Gracias a Dios por haberme dado las fuerzas, fortaleza y perseverancia para terminar este trabajo de graduación y ayudarme a través de toda la carrera. Sin Él no hubiera sido posible. En los momentos en los que pensaba ya no podía seguir siempre estuvo conmigo. Gracias a mi familia porque siempre estuvieron apoyándome en todo momento.

# ÍNDICE

PREFACIO .....	iv
LISTA DE TABLAS .....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Potencia eléctrica y energía.....	4
1. Fuentes sinusoidales .....	4
2. Potencia instantánea.....	6
3. Potencia media o real.....	8
4. Potencia reactiva.....	9
5. Potencia compleja.....	10
6. Factor de potencia.....	11
7. Energía eléctrica .....	11
a. Consumo de energía .....	11
B. Transmisión y distribución de energía eléctrica.....	11
1. Tensión trifásica equilibrada.....	12
2. Fuentes de tensión trifásica.....	12
3. Sistema monofásico .....	13
4. Sistema de distribución.....	13
a. Principales componentes .....	14
1) Alimentadores primarios de distribución.....	14
2) Alimentadores monofásicos de 1 hilo.....	15
3) Alimentadores monofásicos de 2 hilos .....	15
4) Transformadores de distribución .....	15
5) Alimentadores secundarios .....	16
6) Acometidas .....	17
7) Equipo de medición .....	17
5. Empresa Eléctrica de Guatemala .....	17

a.	Suministro de baja tensión .....	17
b.	Voltajes disponibles .....	18
1)	Consumidores individuales .....	18
C.	Sensores .....	18
1.	Transductores .....	18
a.	Elementos de un transductor .....	19
b.	Medición.....	19
2.	Transductores de corriente.....	19
a.	Tipos.....	20
1)	Núcleo abierto .....	20
2)	Núcleo cerrado .....	21
b.	Material núcleo.....	21
c.	Efectos de transformadores de corriente .....	21
3.	Sensor de voltaje.....	22
4.	Resistencia de carga.....	22
D.	Comunicación por radiofrecuencia .....	23
1.	Transmisión y recepción .....	23
2.	Módulos Xbee.....	23
a.	Generalidades .....	23
b.	Principales características .....	24
c.	Modelos de operación .....	24
1)	Modo transparente .....	24
2)	Modo API .....	25
d.	Protocolo ZigBee.....	25
1)	Características Zigbee .....	25
e.	Elementos de una red Zigbee .....	25
1)	Coordinador .....	25
2)	Routers .....	25
3)	End Device – Punto final .....	26
4)	Direccionamiento .....	26
5)	Dirección PAN.....	26
6)	Canal .....	26
7)	Topología de red .....	26

a) Punto a Punto.....	26
E. Reloj en tiempo real .....	26
1. Medición de tiempo .....	26
2. Fuente de alimentación .....	26
3. Propósito y ventajas .....	27
4. RTC integrado DS1307 .....	27
a. Generalidades DS1307.....	27
b. Esquemático .....	28
F. Almacenamiento de datos .....	28
1. Almacenamiento primario .....	29
2. Almacenamiento secundario.....	29
3. Almacenamiento para microcontroladores.....	29
a. RAM.....	29
b. ROM.....	29
c. EEPROM .....	30
d. Almacenamiento masivo con tarjeta SD .....	30
1) Memoria Secure Digital.....	30
G. Despliegue.....	31
1. Pantalla GLCD.....	31
a. Tamaños .....	31
b. Características de una GLCD de 128x64.....	32
V. MARCO METODOLÓGICO .....	33
VI. MARCO PRÁCTICO Y RESULTADOS .....	36
A. Diseño de dispositivo .....	36
B. Consumo eléctrico de corriente de establecimiento doméstico.....	37
C. Valores de medición máximos y mínimos.....	37
1. Acometida eléctrica doméstica .....	38
2. Medición de voltaje y corriente .....	38
3. Determinar los valores que debe medir el sensor de voltaje .....	40
4. Determinar los valores que debe medir el sensor de corriente .....	40
5. Estimación teórica vs medición de corriente.....	40
D. Sensores .....	40
1. Consideraciones del sensor – Transformador de voltaje .....	40

a.	Característica principales de sensor – Transformador de voltaje.....	41
b.	Consideraciones del sensor de corriente .....	42
1)	Funcionamiento lineal en un determinado rango.....	43
2)	Espacio geométrico del sensor.....	43
3)	Características principales de sensor a utilizar. ....	43
E.	Acondicionamiento de señales.....	46
1.	Acondicionamiento sensor de voltaje.....	46
2.	Acondicionamiento sensor de corriente.....	50
3.	Resolución de ADC del microcontrolador .....	54
F.	Interpretación sensor de voltaje .....	54
1.	Resolución de sensor .....	54
G.	Interpretación sensor de corriente .....	55
1.	Resolución de sensor .....	55
H.	Implementación en software .....	57
1.	Cálculo de potencia real.....	58
2.	Cálculo de valores cuadráticos medios.....	58
3.	Cálculo de potencia instantánea.....	58
4.	Cálculo de potencia aparente .....	59
5.	Cálculo de factor de potencia . ....	59
6.	Cálculo de energía .....	59
I.	Configuración de módulos Xbee.....	60
1.	Conexión de XBee a microcontrolador. ....	62
J.	Pruebas de valores y despliegue de sensores y XBee. ....	62
K.	Segundo dispositivo. ....	72
1.	Microcontrolador .....	73
2.	Formato de comunicación.....	73
3.	Reloj en tiempo real.....	74
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	80
A.	Acometida eléctrica.....	80
B.	Valores de medición.....	80
C.	Circuitos acondicionadores. ....	81
D.	Acondicionador de corriente.....	81
E.	Acondicionador de voltaje. ....	81

F.	Implementación de software. ....	82
G.	Módulos XBee. ....	82
H.	Pruebas realizadas. ....	82
VIII.	CONCLUSIONES .....	84
IX.	RECOMENDACIONES .....	85
X.	BILBIOGRAFÍA .....	86
XI.	ANEXOS .....	89
A.	Diagramas de dispositivo de despliegue. ....	89
B.	Diagrama de dispositivo de medición. ....	90
C.	Hoja de datos de sensor de corriente.....	91
D.	RTC DS1307.....	95
E.	XBee.....	101

## LISTA DE TABLAS

1. Tabla No. 1: Potencia de elementos. ....	37
2. Tabla No. 2: Mediciones de voltaje .....	39
3. Tabla No. 3: Mediciones de corriente .....	39
4. Tabla No. 4: Dispositivos conectados con valor pico .....	40
5. Tabla No. 5: Sensor seleccionado. ....	41
6. Tabla No. 6: Sensor de corriente seleccionado. ....	43
7. Tabla No. 7: Voltaje utilizados y resistencias en acondicionador de voltaje. ....	49
8. Tabla No. 8: Voltajes utilizados y resistencias en acondicionador de corriente. ....	53
9. Tabla No. 9: Configuración principal de coordinador. ....	60
10. Tabla No. 10: Configuración principal de router. ....	60
11. Tabla No. 11: Medición sensor de corriente 1. ....	64
12. Tabla No. 12: Medición de sensor de corriente 2. ....	65
13. Tabla No. 13: Medición Sensor - Transformador de voltaje. ....	67
14. Tabla No. 14: Mediciones potencia aparente. ....	69
15. Tabla No. 15: Mediciones de factor de potencia resistivo. ....	70
16. Tabla No. 16: Valores de factor de potencia con bombilla de 50W y capacitor. ....	71
17. Tabla No. 17: Factor de potencia con 300W y capacitor. ....	72

## LISTA DE FIGURAS

18. Figura No. 1: Tensión sinusoidal .....	4
19. Figura No. 2: Potencia instantánea, tensión y corriente .....	7
20. Figura No. 3: Voltaje, corriente y potencia de una carga resistiva .....	8
21. Figura No. 4: Voltaje, corriente y potencia de carga parcialmente inductiva. ....	8
22. Figura No. 5: Triángulo de potencia. ....	10
23. Figura No. 6: Conexión trifásica. a) Conexión Y; b) Conexión $\Delta$ .....	13
24. Figura No. 7: Red eléctrica .....	14
25. Figura No. 8: Transformador de subestación eléctrica.....	16
26. Figura No. 9: Transformador monofásico 3 hilos .....	16
27. Figura No. 10: Acometida de bajo consumo .....	17
28. Figura No. 11: Vatímetro electrodinámico .....	19
29. Figura No. 12: Transformadores de corriente. ....	20
30. Figura No. 13: Transformadores de núcleo abierto.....	21
31. Figura No. 14: Transformador de voltaje.....	22
32. Figura No. 15: Transformador de corriente con resistencia de carga .....	22
33. Figura No. 16: Módulos XBee .....	23
34. Figura No. 17: Comunicación serial XBee .....	24
35. Figura No. 18: Configuración pines RTC .....	28
36. Figura No. 19: Pines de tarjeta SD.....	30
37. Figura No. 20: Pantalla GLC 128x64.....	32
38. Figura No. 21: Módulos de dispositivo 1.....	36
39. Figura No. 22: Módulos de dispositivo 2.....	36
40. Figura No. 23: Tablero Principal Doméstico .....	39
41. Figura No. 24: Parte frontal sensor - Transformador de voltaje. ....	41
42. Figura No. 25: Vista posterior sensor - Transformador de voltaje.....	42
43. Figura No. 26: Conexión de sensores en tablero.....	42
44. Figura No. 27: Sensor de corriente vista inferior y frontal. ....	44
45. Figura No. 28: Sensor de corriente vista frontal núcleo abierto.....	44
46. Figura No. 29: Sensores instalados - frontal. ....	45
47. Figura No. 30: Sensores Instalados 2. ....	45
48. Figura No. 31: Voltaje del transformador de voltaje.....	46
49. Figura No. 32: Circuito acondicionador de transformador de voltaje.....	47
50. Figura No. 33: Circuito acondicionador de transformador de voltaje final .....	47
51. Figura No. 34: Señal de voltaje de entrada. ....	48
52. Figura No. 35: Señal del divisor de voltaje.....	48
53. Figura No. 36: Circuito final acondicionador de voltaje.....	50
54. Figura No. 37: Señal acondicionadora entrada al microcontrolador.....	50
55. Figura No. 38: Desplazamiento de señal de sensor de corriente.....	52

56. Figura No. 39: Circuito acondicionador para sensor de corriente.....	52
57. Figura No. 40: Acondicionamiento para 20 amperios. ....	53
58. Figura No. 41: Salida acondicionador de corriente con 35 amperios. ....	54
59. Figura No. 42: Diagrama de flujo para cálculo de potencia.....	57
60. Figura No. 43: Configuración coordinador. ....	61
61. Figura No. 44: Configuración principal de router.....	61
62. Figura No. 45: Conexión microcontrolador y XBee. ....	62
63. Figura No. 46: Circuito de prueba.....	63
64. Figura No. 47: Error de sensor de corriente. ....	66
65. Figura No. 48: Error de medición de voltaje.....	68
66. Figura No. 49: Error de factor de potencia con corriente inferior a 2.5 Amp.....	71
67. Figura No. 50: Error de factor de potencia con corriente mayor a 2.5 Amp.....	72
68. Figura No. 51: Recolección y despliegue de datos. ....	73
69. Figura No. 52: Datos obtenidos en archivo de texto. ....	75
70. Figura No. 53: Menú principal. ....	75
71. Figura No. 54: Pantalla de energía total. ....	76
72. Figura No. 55: Pantalla de medición del sensor 1. ....	76
73. Figura No. 56: Pantalla de medición de sensor 2. ....	76
74. Figura No. 57: Pantalla de combinación de sensores.....	77
75. Figura No. 58: Pantalla de despliegue de historial. ....	77
76. Figura No. 59: Pantalla despliegue de ajuste de hora. ....	77
77. Figura No. 60: Dispositivo de medición. ....	78
78. Figura No. 61: Dispositivo de medición con sensores. ....	78
79. Figura No. 62: Dispositivo de despliegue. ....	79

## RESUMEN

El presente trabajo trata acerca de un medidor de consumo eléctrico doméstico no invasivo, el cual mide la potencia que se está demandando de las líneas energéticas de la distribución eléctrica de los postes. Estas ingresan al tablero principal de la casa por medio de la acometida eléctrica de una casa común en Guatemala. Para comprender correctamente la potencia a medir se investigó acerca de los diferentes sistemas de distribución que proporciona la empresa eléctrica y como estos están conectados a los hogares. Luego se estudió las diferentes formas de medir la potencia en corriente alterna y como se debe de medir.

Posteriormente se determinó qué sensores se debían utilizar, tanto para la medición del voltaje como de la corriente, cumpliendo con el requerimiento de no ser invasivos, es decir, que al instalarlos no se debe realizar ningún tipo de conexión o desconexión de los cables principales del tablero eléctrico del hogar. Para poder interpretar las señales de los sensores se utilizó un microcontrolador. Relacionando con los sensores se incluyeron circuitos de acondicionamiento en los que a las señales se les modifican su amplitud y desplazamiento para que puedan ser comprendidas por el microcontrolador.

Finalmente se diseñó y construyó un dispositivo para desplegar la información obtenida por los sensores y por el microprocesador. Esta información se envía por medio de radiofrecuencia a otro. Uno le envía los datos al otro para que los almacene y los despliegue. Se utilizó para el despliegue una pantalla GLCD y para almacenar los datos una memoria MicroSD. Con la información obtenida el usuario podrá monitorear su consumo eléctrico doméstico y podrá tomar decisiones para disminuir o ajustar los dispositivos eléctricos que utiliza en el hogar.

Como resultados finales se logró realizar un dispositivo el cuál funciona con un porcentaje de error menor a 5% en un rango de 2.5 amperios hasta 100 amperios en el sensor de corriente y en el sensor de voltaje de 0 a 120 voltios. Se logró que la resolución del sensor de voltaje fuese de 1VAC/14.73VDC es decir que el valor más pequeño que se puede medir es de 338mV. Luego para los sensores de corriente la resolución es de 1AmpAC/17.68mVDC, por lo que el valor más pequeño que se puede medir es de 281.6 mA. Estos valores más pequeños equivalen a un bit de la conversión de analógico a digital.

En el módulo de despliegue se alcanzó a desplegar la información de la energía consumida, la potencia aparente, potencia real, factor de potencia, voltaje y corriente rms. Con la sección del historial se lograron almacenar los datos de la energía consumida por minuto. Estos datos se guardaron en un formato csv(datos separados por coma) que se pueden exportar a una hoja de Excel. Los datos almacenados fueron la fecha con la hora y los wattHora consumidos en un minuto.

Como dispositivo físico final se obtuvo un módulo medidor el cual tiene conectado el sensor de voltaje y dos sensores de corriente. Para el módulo de despliegue y almacenamiento se cuenta con un espacio para ingresar una memoria SD o MicroSD, una pantalla GLCD de 128x64 y sus respectivos botones para interactuar con el menú de despliegue y configurar la hora.

# I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación consistirá en desarrollar un medidor de energía doméstico no invasivo, el cual es portátil. Este indicará al usuario la cantidad de watts- hora (Wh) empleados en tiempo real. El usuario podrá observar en el dispositivo un historial del consumo en un determinado tiempo.

Para lograr el objetivo del trabajo, se construirán dos dispositivos separados, siendo uno el dispositivo con los sensores y el otro será el dispositivo de despliegue. Se tendrá un sensor de corriente no invasivo, el cual se colocará alrededor de la línea energética para conocer la corriente. Luego se tendrá un microcontrolador para analizar los datos del sensor y realizar los cálculos necesarios, determinando así el consumo de kWh. Este mismo microcontrolador estará a cargo de la transmisión inalámbrica por medio de una comunicación de radio frecuencia hacia el dispositivo de despliegue. Se tendrá otro microcontrolador para recibir la información, guardarla y desplegarla en una pantalla LCD.

El propósito de los dos dispositivos es la de medir la energía en tiempo real, almacenar y proporcionar los datos de energía consumida en diferentes tiempos como lo son por hora, por día, por semana y por mes. Esto para ayudar al usuario a tener la información necesaria para tener un control de su consumo. De tal manera que si tiene un alto consumo esta le puede ayudar a tomar una decisión con respecto a los aparatos eléctricos que utiliza y el tiempo que los usa.

## II. OBJETIVOS

### Generales

- ◆ Construir un medidor de energía doméstico que proporcione la energía utilizada en tiempo real.

### Específicos

- ◆ Medir la energía consumida por medio de un sensor no invasivo alrededor de la línea energética.
- ◆ Realizar un récord histórico del consumo de energía.
- ◆ Proporcionar en tiempo real las mediciones de energía consumida.
- ◆ Enviar la información recopilada de forma inalámbrica.
- ◆ Desarrollar un sistema para desplegar la información

### III. JUSTIFICACIÓN

La idea del medidor de energía surge del alto consumo eléctrico en las ciudades y del limitado suministro que se tiene debido a la capacidad de distribución y generación. Este consumo se puede disminuir si una gran cantidad de casas en la ciudad se comprometen a monitorear, controlar y reducir el mismo. Muchas personas desean tener más información acerca del consumo de sus aparatos eléctricos y traducirlo a cuánto dinero deben pagar por utilizarlos.

Con este aparato se logrará que las personas puedan establecer cuanto gasto les genera utilizar un aparato eléctrico. Por ejemplo el consumo eléctrico que se tiene al bañarse utilizando en ese momento un calentador eléctrico y el motor de la bomba de agua. El usuario al conocer esta información podrá analizar si el tomar un largo baño le representa un gasto bastante elevado y debe realizar una acción para disminuir el consumo. Esto puede ser disminuir el tiempo de baño o bien disminuir la temperatura del agua. Con esta información la gente es más consciente del dinero que están gastando en sus equipos eléctricos y que bien podrían disminuir. Esto no solo ayuda al presupuesto de la persona, sino que también reduce el consumo energético de las ciudades. Teniendo así un uso eficiente de la energía disponible en Guatemala.

El diseño, la construcción e implementación del dispositivo requerirá que se empleen varios conocimientos como lo son análisis de circuitos, procesamiento de señales del sensor, alimentación de energía, procesamiento, transmisión y almacenamiento de datos, comunicación entre dispositivos, despliegue de información, programación entre otros. Estos aspectos deben de funcionar en conjunto de tal manera que los módulos se interconecten correctamente y el dispositivo pueda funcionar.

Otra gran ventaja de este dispositivo es que no es invasivo por lo que es de fácil instalación y traslado para diferentes mediciones. El usuario puede colocarlo fácilmente en diferentes lugares y luego trasladar el dispositivo de despliegue a cualquier lugar.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. Potencia eléctrica y energía

La ingeniería de los sistemas de potencia ha evolucionado hasta convertirse en una de las subdisciplinas más importantes dentro de la ingeniería eléctrica. El rango de problemas que tratan con la distribución de energía para la realización de algún tipo de trabajo es bastante grande, partiendo desde la determinación de la potencia nominal que permite a un aparato operar de forma segura y eficiente, hasta el diseño del amplio rango de generadores, transformadores y cables que proporcionan energía eléctrica a los consumidores industriales y domésticos. [25]

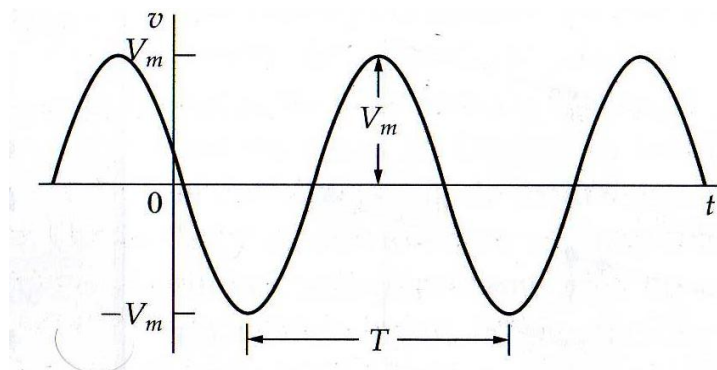
Por lo general toda la energía eléctrica se suministra en forma de tensiones y corrientes sinusoidales. El interés principal se centra en la potencia media distribuida o suministrada desde un par de terminales como resultado de la existencia de tensiones y corrientes sinusoidales. La potencia se puede definir como la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, o bien la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el sistema de Unidades es el vatio (watt). Esta potencia se puede clasificar en diferentes tipos entre estos se encuentran la potencia instantánea, real, reactiva y aparente. [1]

1. Fuentes sinusoidales. Las fuentes de tensión sinusoidales producen una tensión que varía sinusoidalmente con el tiempo. Una fuente de corriente sinusoidal produce una corriente que varía sinusoidalmente con el tiempo. El análisis de fuentes sinusoidales se aplica tanto para tensión y corriente. El siguiente se realizará para fuentes de tensión. Se puede expresar una función sinusoidal mediante la función seno o la función coseno. Aunque las dos resultan adecuadas, no se pueden usar ambas funciones simultáneamente. En este análisis se utilizará la función coseno. Esto como se puede observar en la Ec.1.1. [25]

$$v = V_m \cos(\omega t + \phi) \quad \text{Ec.1.1}$$

Esto se puede observar en la siguiente Figura No.1.

Figura No. 1: Tensión sinusoidal



La tensión sinusoidal se repite en intervalos regulares, estas se denominan periódicas. Uno de los parámetros de interés es el tiempo necesario para que la función sinusoidal recorra todo su posible rango de valores. Este tiempo se denomina período de la función y se designa mediante la letra T. El período se mide en segundos y el recíproco de T da el número de ciclos por segundo, que es la frecuencia esto se observa en la siguiente Ec.1.2: [25]

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ec.1.2}$$

Un ciclo por segundo se denomina hercio, y se representa por Hz.

Otra importante característica de la tensión o corriente sinusoidal es su valor RMS. El valor RMS de una función periódica se define como la raíz cuadrada del valor medio de la función al cuadrado. Por lo que se tiene en la Ec.1.3:

$$V_m = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V_m^2 \cos^2(\omega t + \phi) dt} \quad \text{Ec.1.3}$$

Un valor RMS de voltaje o corriente representa el valor de una corriente o voltaje rigurosamente constante que produce los mismos efectos de potencia disipada que dicha corriente o voltaje alterno.

Para ondas sinusoidales el valor RMS de la tensión sinusoidal depende de la amplitud máxima de v, es decir Vm. El valor RMS no depende ni de la frecuencia de del ángulo de fase. Como se puede observar en la siguiente ecuación Ec.1.4. [16]

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad \text{Ec.1.4}$$

Si la onda que se está analizando es rectangular, triangular o de alguna otra forma la constante de  $1/\sqrt{2}$  cambia.

Por lo que también si se desea tomar las mediciones en valores discretos se puede hacer lo siguiente en Ec.1.5 y Ec.1.6:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)}{N}} \quad \text{Ec.1.5}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)}{N}} \quad \text{Ec.1.6}$$

Donde v(n) es una muestra de la instancia de u(t), i(n) es una muestra de la instancia de i(t) y N es el número de muestras. Por lo que si se quiere medir esto valores se debe ir tomando la medición en un tiempo dado, multiplicarlo por su mismo valor, dividirlo por el número de muestras y obtener la raíz cuadrada.

Para el cálculo de potencias RMS por ser proporcional con el cuadrado de la amplitud de la tensión eléctrica, para el caso de señales sinusoidales se tiene lo siguiente en Ec.1.7:

$$P_{rms} = \frac{P_m}{2} \quad \text{Ec.1.7}$$

2. **Potencia instantánea.** Esta es el producto de la tensión y la corriente instantánea en los terminales, es decir lo siguiente en Ec.1.8:

$$p(t) = v(t)i(t) \quad \text{Ec.1.8}$$

La potencia instantánea se mide en vatios cuando la tensión está en voltios y la corriente en amperios. Para esto las expresiones correspondientes a  $v$  e  $i$  son Ec.1.9 y Ec.1.10:

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \quad \text{Ec.1.9}$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad \text{Ec.1.10}$$

Donde  $\theta_v$  es el ángulo de fase de la tensión y  $\theta_i$  es el ángulo de fase de la corriente.  $V_m$  y  $I_m$  son los valores máximos de voltaje y de corriente. [25]

Como se opera en régimen sinusoidal, se puede elegir cualquier instante conveniente como tiempo cero. Por lo general se escoge como origen de tiempo un instante en que la corriente sea un máximo positivo. Este sistema de referencia requiere un desplazamiento de la tensión y de la corriente según un ángulo  $\theta_i$ , por lo que se tiene en Ec.1.11 y Ec.1.12:

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.11}$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t) \quad \text{Ec.1.12}$$

Si esto se sustituye en la ecuación normal de potencia Ec.1.1 se tiene lo siguiente en Ec.1.13.

$$p(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v - \theta_i) \cos(\omega t) \quad \text{Ec.1.13}$$

Para encontrar la potencia media es conveniente utilizar identidades trigonométricas. Como la siguiente en Ec.1.14:

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) \quad \text{Ec.1.14}$$

Para realizar el desarrollo de la ecuación se deben tomar las siguientes sustituciones de Ec.1.15 y Ec.1.16.

$$\alpha = \omega t + \theta_v - \theta_i \quad \text{Ec.1.15}$$

$$\beta = \omega t \quad \text{Ec.1.16}$$

Con lo cual se obtiene lo siguiente en Ec.1.17:

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t + \theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.17}$$

Luego se debe utilizar la siguiente identidad trigonométrica de Ec.1.18:

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) - \text{sen}(\alpha)\text{sen}(\beta) \quad \text{Ec.1.18}$$

Al desarrollar el segundo término de la ecuación Ec.1.10 se obtiene lo de Ec.1.19.

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) \cos(2\omega t) - \frac{V_m I_m}{2} \text{sen}(\theta_v - \theta_i) \text{sen}(2\omega t)$$

Ec.1.19

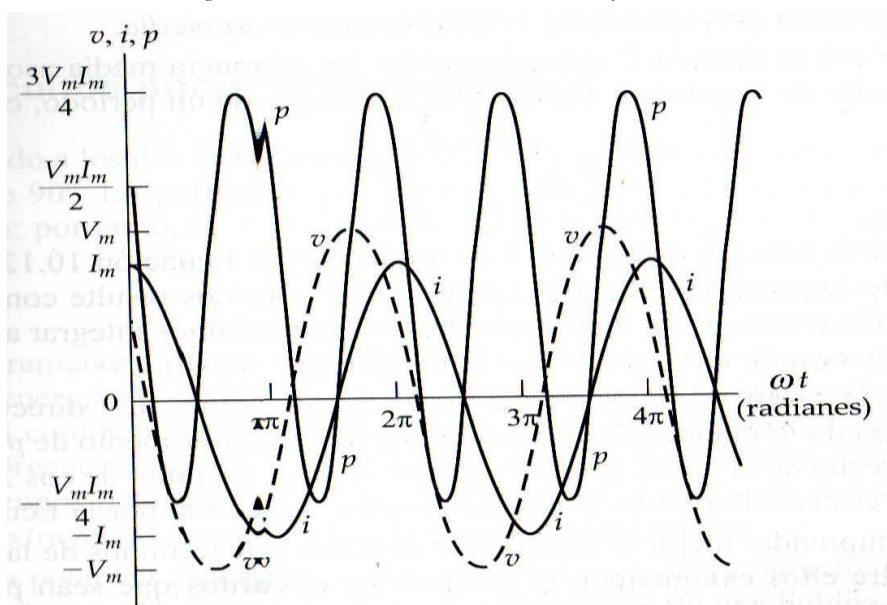
Esta ecuación se puede reescribir de la siguiente manera en Ec.1.20:

$$p = P + P \cos(2\omega t) + Q \text{sen}(2\omega t) \quad \text{Ec.1.20}$$

Donde P es la potencia media y Q es la potencia reactiva. [25]

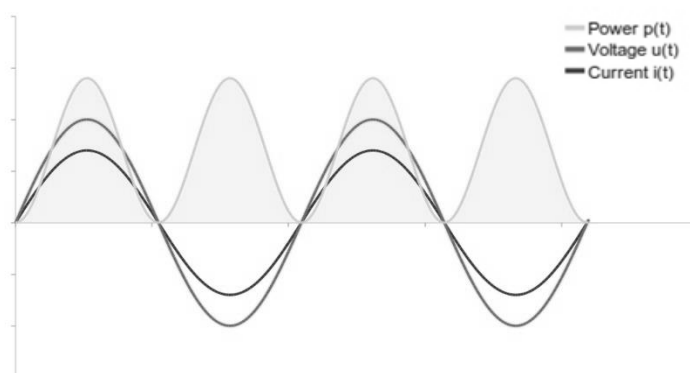
La siguiente Figura No.2 muestra la relación que existe entre  $v$ ,  $i$  y  $p$  basándose en la suposición de que  $\theta_v = 60^\circ$  y  $\theta_i = 0^\circ$ . Se puede observar que la frecuencia de la potencia instantánea es el doble de la frecuencia de la tensión o de la corriente.

Figura No. 2: Potencia instantánea, tensión y corriente



Si la carga es puramente resistiva como lo son en una casa bombillas, calentadores de agua, cafeteras, hornos, etc; utilizan toda la energía que es suministrada estos elementos no la pueden almacenar ni generar. Por lo que no hay ningún desfase entre la corriente y el voltaje. Estas son cargas resistivas lo cual quiere decir que su corriente, aplicando la ley de ohm es igual al voltaje suministrado dividido la resistencia. Una carga puramente resistiva tiene una onda sinusoidal bastante parecida a la siguiente Figura No.3. [1]

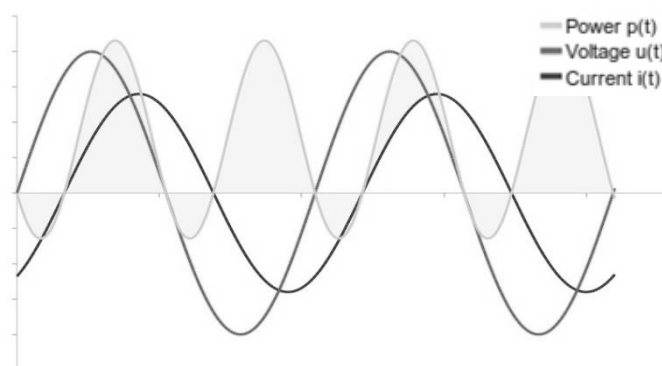
Figura No. 3: Voltaje, corriente y potencia de una carga resistiva



La curva rellenada o sombreada es la potencia en un tiempo dado, que es igual al producto de la corriente y el voltaje en un tiempo dado. Se debe tomar en cuenta que la onda sinusoidal de potencia siempre es positiva en este caso, ya que la energía está fluyendo hacia la carga. La corriente y el voltaje no están desfasados. [1]

Luego también se encuentran dispositivos como refrigeradores, secadores de peso, secadora de ropa, lavadoras, etc. Que acumulan cierta cantidad de energía y luego la devuelven al sistema. Estas tienen componentes inductivas o capacitivas adicionales a las resistivas. Esto ocasiona un desfase entre la corriente y el voltaje. Una carga parcialmente inductiva tiene una onda sinusoidal de voltaje y corriente parecida a la siguiente en la Figura No.4: [1]

Figura No. 4: Voltaje, corriente y potencia de carga parcialmente inductiva.



Se puede observar que la onda sinusoidal rellenada o sombreada se vuelve negativa por periodo de tiempo. Esto es que la parte positiva rellenada es energía utilizada por la carga y la negativa es energía que regresa la carga.

3. **Potencia media o real.** Es el valor medio de la potencia instantánea a lo largo de un período. Esta es la potencia convertida de forma eléctrica a forma no eléctrica y viceversa. Esta conversión

es la razón de que la potencia media se denomine también potencia real. Esta se expresa de la siguiente manera en Ec.1.21 y Ec.1.22: [25]

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.21}$$

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.22}$$

Donde el valor RMS es igual a Ec.1.23 y a Ec.1.24:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad \text{Ec.1.23}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{Ec.1.24}$$

Esta también se puede interpretar como el promedio de la potencia instantánea a lo largo de un período esto de la siguiente manera en Ec.1.25.:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p \, dt \quad \text{Ec.1.25}$$

Donde T es el período de la función sinusoidal. Los límites de integración de la ecuación anterior implican que se puede iniciar el proceso de integración en cualquier instante  $t_0$  que resulte conveniente, tomando en cuenta que se debe terminar la integración exactamente un período después. [25]

Por lo que se puede expresar en un tiempo discreto como en Ec.1.26:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) * i(n) \quad \text{Ec.1.26}$$

Donde  $u(n)$  es una muestra de la instancia de  $v(t)$ ,  $i(n)$  es una muestra de la instancia de  $i(t)$  y N es el número de muestras.

**4. Potencia reactiva.** Es la potencia eléctrica intercambiada entre el cambio magnético de una bobina y la fuente que la excita o bien entre el campo eléctrico de un condensador y la fuente que lo excita. La potencia reactiva nunca se convierte a potencia no eléctrica. La potencia reactiva con el convenio de signos pasivos se expresa como en Ec.1.27 y Ec.1.28: [25]

$$Q = \frac{1}{2} V_m I_m \sen(\theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.27}$$

$$Q = V_{rms} I_{rms} \sen(\theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.28}$$

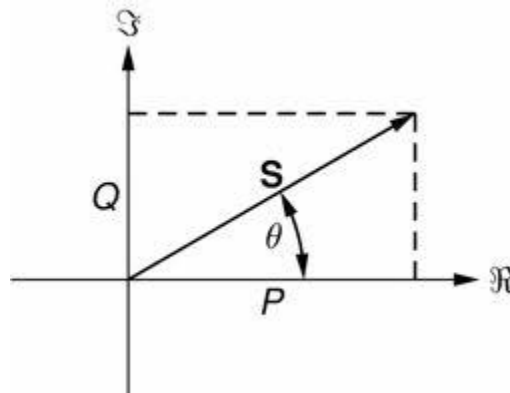
Tanto la potencia media como la reactiva pueden expresarse en términos de la corriente pico es decir  $V_m$  y  $I_m$  o eficaces  $V_{RMS}$  y  $I_{RMS}$ . Los valores eficaces se utilizan ampliamente tanto en aplicaciones industriales como de consumo.

5. **Potencia compleja.** Esta es la suma de la potencia real y de la potencia reactiva. Esto se puede observar de la siguiente manera en Ec.1.29:

$$S = P + jQ \quad \text{Ec.1.29}$$

Desde el punto de vista de dimensionales esta tiene las mismas dimensionales que la potencia media o reactiva que son vatios, pero para distinguirlas de las otras potencias se utilizan las unidades de voltio-ampere (VA). Una de la ventajas de utilizar está potencia es la interpretación geométrica que proporciona. Al trabajar la ecuación Ec.1.22 en forma rectangular, como se muestra en la Figura No.5. Donde el eje y es el de los imaginarios, el eje x es el de los reales. S es la potencia aparente, P es la potencia real y Q es la potencia reactiva. [16]

Figura No. 5: Triángulo de potencia.



Con esto se puede demostrar que el ángulo  $\theta$  del triángulo es el factor de potencia  $\theta_v - \theta_i$  y se obtiene lo siguiente en Ec.1.30.

$$\tan \theta = \frac{Q}{P} \quad \text{Ec.1.30}$$

Por las definiciones de Q y P se puede realizar la siguiente ecuación de demostración de Ec.1.31.

$$\frac{Q}{P} = \frac{\frac{1}{2}V_m I_m \sin(\theta_v - \theta_i)}{\frac{1}{2}V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i)} = \tan(\theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.31}$$

Por lo tanto  $\theta = \theta_v - \theta_i$ . Las relaciones geométricas aplicables a un triángulo recto implican también que las cuatro dimensiones del triángulo de potencia pueden determinarse solo conociendo dos de los cuatro lados.

La magnitud de la potencia compleja se denomina potencia aparente. Específicamente en Ec.1.32:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{Ec.1.32}$$

Esta potencia se mide en voltios-ampere. Se considera que el consumo de potencia aparente en un dispositivo diseñado para convertir energía eléctrica en energía no eléctrica es más importante que el dato de

potencia media. Aunque la potencia media representa la salida útil del dispositivo conversor de energía, la potencia aparente representa la capacidad en voltio-amperios requerida para suministrar la potencia media. [23]

6. **Factor de potencia.** Es el coseno del ángulo de fase entre la tensión y la corriente como se ve en Ec.1.33:

$$fp = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad \text{Ec.1.33}$$

Conocer el valor del factor de potencia permite determinar el valor del ángulo del factor de potencia, porque  $\cos(\theta_v - \theta_i) = \cos(\theta_i - \theta_v)$ . Para describir completamente este ángulo se utilizan frases descriptivas de factor de potencia de retardo y factor de potencia en adelanto. Un factor de potencia en retardo implica que la corriente está retrasada con respecto a la tensión, lo que quiere decir que se tiene una carga inductiva. Un factor de potencia en adelanto implica que la corriente está adelantada con respecto a la tensión, por lo que se tiene una carga capacitiva. [23]

7. **Energía eléctrica.** Esta es energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, esto permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se les coloca en contacto por medio de un conductor eléctrico. Esta energía puede transformarse en muchos otros tipos de energía como lo son luz, energía mecánica y térmica. [18]

a. **Consumo de energía.** Los aparatos eléctricos cuando están funcionando generan un consumo de energía eléctrica en función de la potencia que tengan y del tiempo que estén funcionando. La energía consumida por un dispositivo eléctrico se mide en vatios-hora (Wh) o bien en kilovatios-hora (kWh). Normalmente las empresas que suministran energía eléctrica a la industria y hogares cobran en kilovatios hora. Esto también se puede definir como el consumo de una carga de un vatio en una hora, es decir en una hora la carga tuvo una demanda promedio de 1W. Esto se puede expresar de la siguiente manera en Ec.1.34. [5]

$$1Wh = 1W * 1h \quad \text{Ec.1.34}$$

Entre otra definición que es importante mencionar es la eficiencia energética. Dado el elevado costo de la energía eléctrica y las dificultades que existen para cubrir la demanda mundial de electricidad es necesario aplicar la máxima eficiencia energética posible. La eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía consumida de los productos y los beneficios finales obtenidos.

## B. Transmisión y distribución de energía eléctrica

La generación, transmisión, distribución y utilización de grandes cantidades de energía eléctrica se lleva a cabo mediante circuitos trifásicos. Estos se utilizan para transportar la energía eléctrica desde las plantas generadoras hasta las instalaciones industriales y residenciales de las ciudades.

Una de las restricciones impuestas al diseño y operación de un sistema de distribución de energía eléctrica es el requisito de que se mantenga el nivel de tensión RMS en las instalaciones; independiente de que el circuito esté ligeramente cargado. [10]

1. **Tensión trifásica equilibrada.** Un conjunto de tensiones trifásicas equilibradas está compuesto por tres tensiones sinusoidales con idéntica amplitud y frecuencia, pero que están desfasadas entre sí exactamente  $120^\circ$ . Normalmente se refiere a las tres fases como a, b, c utilizando la fase a como referencia. Las tres tensiones se denominan tensión de fase a, fase b y fase c. Generalmente se utilizan dos posibles relaciones de entre la tensión de fase a y las tensiones de fase b y c. La primera es que la tensión de fase b esté retardada  $120^\circ$  con respecto a la tensión de fase a, por lo que la tensión de fase c estará adelantada  $120^\circ$  con respecto a la tensión de fase a. Esta se denomina secuencias de fases abc positiva esto se puede observar en Ec.2.1 a Ec.2.3 [23]

$$V_a = V_m \angle 0^\circ \quad \text{Ec.2.1}$$

$$V_b = V_m \angle -120^\circ \quad \text{Ec.2.2}$$

$$V_c = V_m \angle +120^\circ \quad \text{Ec.2.3}$$

La otra opción es que la tensión de fase b esté adelantada  $120^\circ$  con respecto a la tensión de fase a, por lo que la tensión de fase c debe estar retardada  $120^\circ$ . Esta se denomina secuencias de fases acb negativa. Esto se puede observar de Ec.2.2 a Ec.2.4 [23]

$$V_a = V_m \angle 0^\circ \quad \text{Ec.2.2}$$

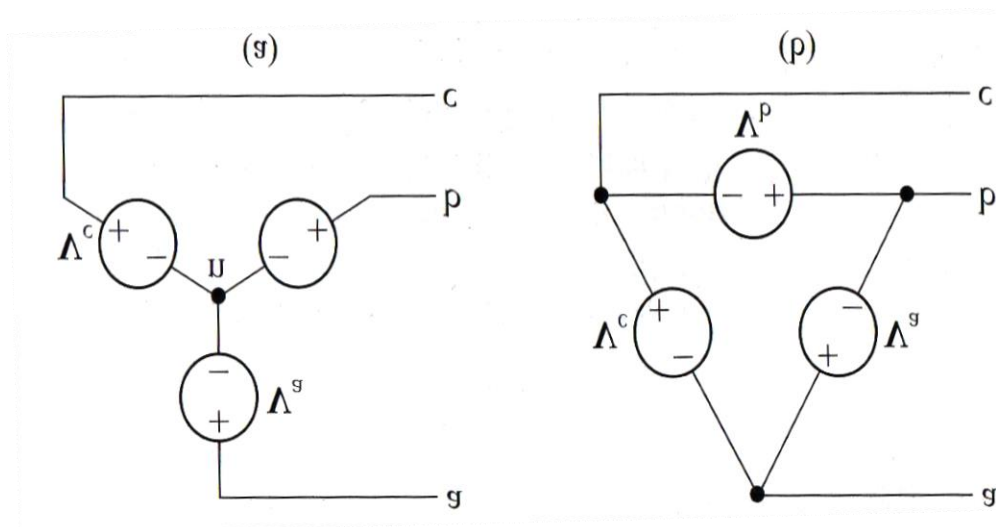
$$V_b = V_m \angle +120^\circ \quad \text{Ec.2.3}$$

$$V_c = V_m \angle -120^\circ \quad \text{Ec.2.4}$$

2. **Fuentes de tensión trifásica.** Una fuente de tensión trifásica es un generador con tres devanados separados distribuidos alrededor del estator. Cada devanado forma una fase del generador. El rotor del generador es un electroimán que se mueve a velocidad síncrona mediante algún tipo de mecanismo. La rotación del electroimán induce una tensión sinusoidal en cada uno de los devanados. Los devanados de las fases están diseñados de forma que las tensiones sinusoidales inducidas en ellos tienen igual amplitud y están desfasadas entre sí  $120^\circ$ . Los devanados de fase son estáticos con respecto al electroimán giratorio, por lo que la frecuencia de la tensión inducida en cada devanado es la misma. [25]

Hay dos formas de interconectar los diferentes devanados de fase para formar una fuente trifásica. En configuración de estrella (Y) o en configuración de triángulo ( $\Delta$ ). La siguiente Figura No.6 muestra estas conexiones.

Figura No. 6: Conexión trifásica. a) Conexión Y; b) Conexión  $\Delta$



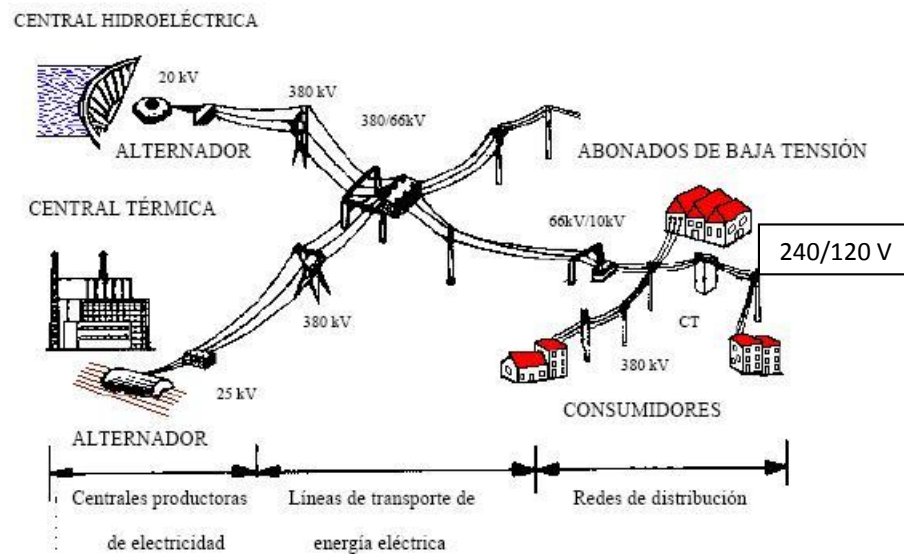
La terminal común en las fuentes conectadas en estrella, etiquetada como  $n$  en la figura anterior se denomina terminal neutro de la fuente. Este puede o no estar disponible para efectuar una conexión externa.

3. **Sistema monofásico.** Este está formado únicamente por una de las fases de las tres tensiones sinusoidales. Este tipo de sistema se suele usar cuando las cargas son principalmente de iluminación y de calefacción, y para pequeños motores eléctricos. El voltaje y la frecuencia de esta corriente dependen del país o región, siendo 230 y 115 volts los valores más usados para el voltaje. Para la frecuencia se usan 50 o 60 hertz. Para los sistemas bifásicos se eligen dos fases de las tres tensiones sinusoidales. [28]

4. **Sistema de distribución.** Conjunto de instalaciones desde 120 volts hasta tensiones de 34.5kV encargadas de entregar la energía eléctrica a los usuarios a los niveles de tensión normalizados y en las condiciones de seguridad exigidas por los reglamentos. [28]

Los sistemas deben de proyectarse de modo que puedan ser ampliados progresivamente en un futuro. Por cambios en las construcciones existentes. Esto con el fin de asegurar un servicio adecuado y continuo para la carga presente y futura al mínimo costo de operación. A continuación se muestra una imagen de un sistema de distribución común en la Figura No.7.

Figura No. 7: Red eléctrica



En la figura anterior se puede observar dos fuentes de energía eléctrica la central hidroeléctrica y la central térmica estas generan voltajes de 20kV y 25 kV que luego son transmitidas a voltajes de 380 kV distribuidas mediante líneas. Posteriormente se disminuyen estas tensiones mediante transformadores a voltajes de 10kv y finalmente a 240/120 v para los consumidores.

a. Principales componentes. Los principales elementos de un sistema de distribución. [5]

1. Alimentadores primarios de distribución
2. Transformadores de distribución
3. Alimentadores secundarios
4. Acometidas
5. Equipo de medición

1) Alimentadores primarios de distribución. Estos llevan la energía eléctrica desde las subestaciones de potencia hasta los transformadores de distribución. Los conductores van soportados en poste cuando se trata de instalaciones aéreas y en ductos cuando se trata de instalaciones subterráneas. [31]

Los componentes principales de un alimentador primario son:

- ◆ Troncal
- ◆ Ramal

Troncal es el tramo de mayor capacidad de alimentación que transmite la energía eléctrica desde la subestación de potencia a los ramales. Estos utilizan conductores de calibres gruesos.

El ramal es la parte del alimentador primario energizado a través de un troncal, en el cual van conectados los transformadores de distribución y servicios particulares en media tensión.

Los alimentadores primarios normalmente se estructuran en forma radial, en un sistema de este tipo la forma geométrica del alimentador semeja la de un árbol, donde por el grueso del tronco, el mayor flujo de la energía eléctrica se transmite por toda una troncal, derivándose a la carga a lo largo de los ramales. [31]

Los alimentadores primarios por el número de fases e hilos se pueden clasificar en:

- ◆ Trifásicos tres hilos
- ◆ Trifásico cuatro hilos
- ◆ Monofásico dos hilos
- ◆ Monofásicos un hilo.

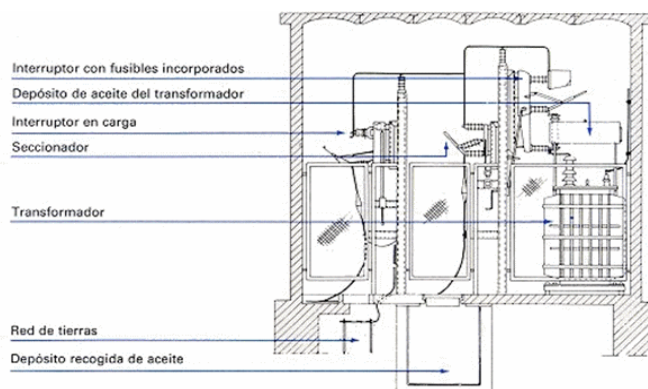
2) Alimentadores monofásicos de 1 hilo. Estos son derivaciones de sistemas trifásicos que permiten alimentar transformadores monofásicos.

3) Alimentadores monofásicos de 2 hilos. Estos se originan de sistemas de distribución trifásicos. Son derivaciones de alimentadores trifásicos de tres hilos que sirven para alimentar transformadores monofásicos que reciben la tensión entre fases en el devanado primario.

4) Transformadores de distribución. Los transformadores de distribución son los equipos encargados de cambiar la tensión primaria a un valor menor de tal manera que el usuario pueda utilizarla sin necesidad de equipos e instalaciones costosas y peligrosas. En si el transformador de distribución es la liga entre los alimentadores primarios y los alimentadores secundarios.

La capacidad del transformador se selecciona en función de la magnitud de la carga, debiéndose tener especial cuidado en considerar los factores que influyen en ella, tales como el factor de demanda y el factor de coincidencia. El número de fases del transformador es función del número de fases de la alimentación primaria y del número de fases de los elementos que componen la carga. [28]

Figura No. 8: Transformador de subestación eléctrica



En la Figura No.8 se puede observar la configuración común de un transformador de alta tensión en donde se tiene un interruptor con fusibles incorporados, un depósito de aceite, un interruptor de carga y una red de tierras que contribuyen al correcto y seguro funcionamiento del dispositivo.

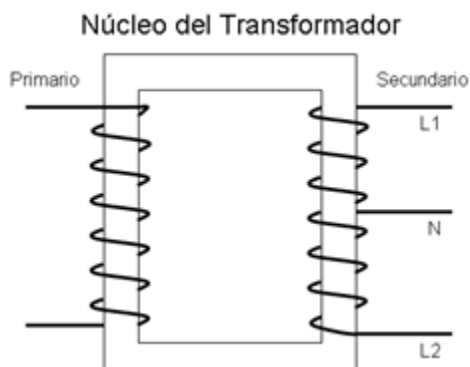
5) Alimentadores secundarios. Los alimentadores secundarios distribuyen la energía desde los transformadores de distribución hasta las acometidas a los usuarios. En la mayoría de los casos estos alimentadores secundarios son circuitos radiales. Los alimentadores secundarios de distribución, por el número de hilos, se pueden clasificar en: [16]

- ◆ Monofásico dos hilos
- ◆ Monofásico tres hilos.
- ◆ Trifásico cuatro hilos.

Por lo general la distribución que se utiliza para hogares u oficinas pequeñas es de baja carga lo cual corresponde a conexiones monofásicas de dos hilos y tres hilos. Por lo que se hará un mayor énfasis en estas.

Por lo general se utiliza un transformador que tiene un devanado primario, y en devanado secundario tiene una derivación central de donde se obtiene el neutro. Esto como se puede observar en la siguiente Figura No.9. [8]

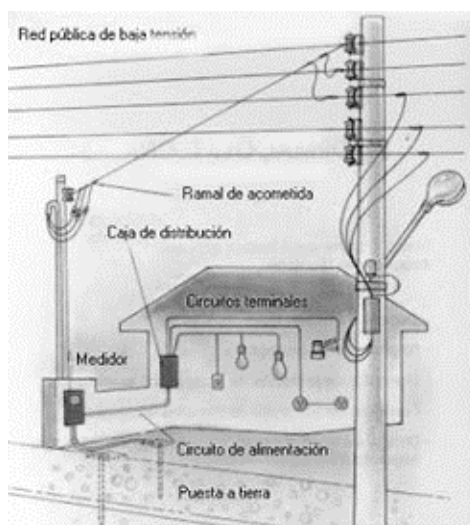
Figura No. 9: Transformador monofásico 3 hilos



Cuando se alimenta una residencia con servicio monofásico de dos hilos se usa L1-N o L2-N, con lo que se obtiene 120 volts. Para la conexión de tres hilos los devanado secundarios están dispuestos de tal manera, que la suma fasorial del voltaje L1-L2 sea aditiva, es decir  $120V + 120V = 240V$ . Esto ocurre porque los voltajes L1-N y L2-N, están en fase debido a que se encuentran en el mismo núcleo e inducidos por el mismo devanado primario. [6]

6) Acometidas. Las acometidas son las partes que ligan al sistema de distribución de la empresa suministradora con las instalaciones del usuario. Las acometidas se pueden proporcionar a la tensión primaria (media tensión) o la tensión secundaria (baja tensión), esto depende de la magnitud de la carga que el usuario requiera ante la empresa suministradora. A continuación se puede observar un esquema de una acometida de baja tensión en la Figura No.10. Se puede apreciar que la energía se obtiene del poste donde se conecta con el ramal de acometida pasando por el medidor y luego terminando en la caja de distribución adentro de la casa. [31]

*Figura No. 10: Acometida de bajo consumo*



7) Equipo de medición. La medición puede ser media tensión o en baja tensión dependiendo del tipo de acometida de servicio que requiera el usuario.

5. Empresa Eléctrica de Guatemala. De acuerdo a la Empresa Eléctrica de Guatemala, referente a las condiciones generales para el servicio en baja tensión y requisitos constructivos para acometidas de servicio eléctrico. Los servicios de baja tensión son aquellos menores o iguales a 480 voltios.

a. Suministro de baja tensión. Todo servicio en baja tensión deberá cumplir con el procedimiento descrito en la norma técnica MT 2.00.01 Normas Particulares de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. El servicio en baja tensión se utilizará para cargas monofásicas y trifásicas indicadas en esta norma, y con las características siguientes: [4]

Las tensiones de suministro que Empresa Eléctrica de Guatemala proporcionará serán:

- ◆ 120/240 voltios 1 fase 3 alambres
- ◆ 120/208 voltios 1 fase 3 alambres \*
- ◆ 120/240 voltios 3 fases 4 alambres
- ◆ 120/208 voltios 3 fases 4 alambres
- ◆ 240/480 voltios 3 fases 4 alambres

\* Cualquier voltaje no estandarizado o mayor de 480 voltios, deberá ser consultado con la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A

b. Voltajes disponibles.

1) Consumidores individuales.

- ◆ 120 / 240 voltios, monofásico
- ◆ 120 / 208  $\mathbf{Y}$  voltios, trifásico, estrella aterrizada, 4 alambres.
- ◆ 120 / 240  $\mathbf{\Delta}$  voltios, trifásico, delta, 4 alambres.

## C. Sensores

1. Transductores. Este es un dispositivo capaz de convertir un determinado tipo de energía de entrada en otra diferente a la salida. Estos posibilitan la conversión de magnitudes físicas no eléctricas como temperatura, fuerza, presión, distancia, movimiento, etc. En magnitudes eléctricas ya sean tensiones o corrientes DC. Entre estos se encuentran varios tipos como: [24]

- ◆ Electromagnético
- ◆ Electroacústico
- ◆ Electromecánico
- ◆ Fotoeléctrico
- ◆ Piezoeléctrico
- ◆ Electroquímico

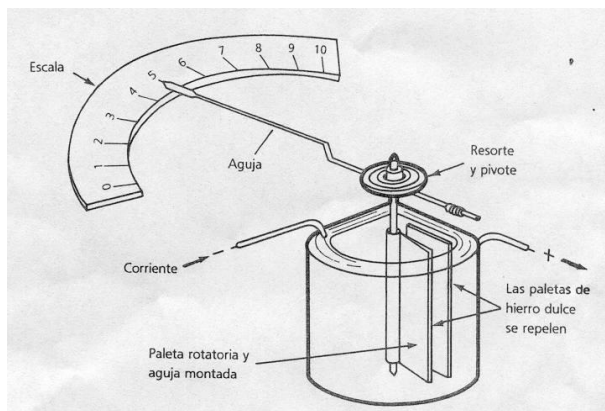
a. Elementos de un transductor. Si bien los transductores actuales suelen estar integrados en una sola pieza se pueden distinguir, en general, tres etapas en la generación de la salida eléctrica en respuesta a la medida física. [24]

- ◆ Sensor: es un elemento que responde directamente a la medida.
- ◆ Transductor: es el elemento en el que se transduce la señal física en una salida eléctrica.
- ◆ Circuito acondicionador y procesamiento de señal: este es un circuito eléctrico o electrónico que le da formato a la señal entregada por el transductor. Su objetivo es realizar una función lineal de la salida y estandarizarla dentro de los límites de aplicación.

El circuito acondicionador puede estar colocado dentro de la empaquetadura del transductor o totalmente separado. Si el transductor consiste en varios módulos, las interconexiones provistas por el usuario son parte del sistema de medida y el correcto cableado, aislado y puesta a tierra, son esenciales para conseguir las condiciones de trabajo específicos.

b. Medición. El instrumento básico utilizado para medir la potencia en circuitos trifásicos es el vatímetro electrodinámico. Este contiene dos bobinas. La primera es la bobina de corriente que es estática y está diseñada para transportar una corriente proporcional a la corriente de carga. La segunda es la bobina de potencial que es móvil y transporta una corriente proporcional a la tensión de la carga. [26]

Figura No. 11: Vatímetro electrodinámico



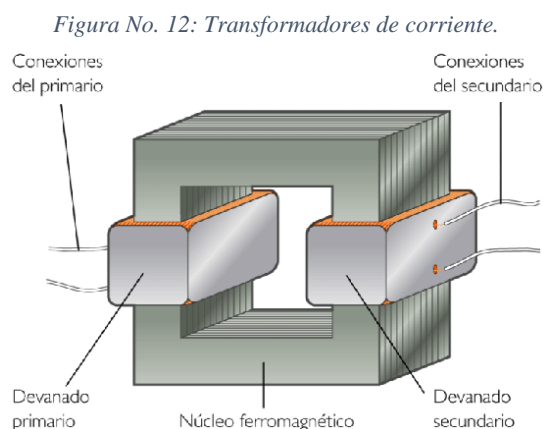
La deflexión de la aguja asociada a la bobina móvil es proporcional al producto del valor eficaz de la corriente en la bobina de corriente, del valor eficaz de la tensión impuesta a la bobina de potencial y del coseno del ángulo de fase entre la tensión y la corriente. La dirección en la que se desvíe el cursor dependerá de la polaridad instantánea de la corriente que atraviesa la bobina de corriente y de la tensión de la bobina de potencia. Esto se puede observar en la Figura No.11.

2. Transductores de corriente. Estos también son conocidos como transformadores de corriente. Utilizan el campo magnético de una corriente alterna a través de un circuito para inducir una

corriente proporcional en un segundo circuito. Las funciones principales de un transformador de corriente son: [26]

- ◆ Medir la corriente
- ◆ Aumentar o disminuir corriente
- ◆ Transmitir Corriente

Un transformador de corriente se construye con un núcleo, en general de acero, enrollado por bobinas primarias y secundarias que están aisladas entre sí y del núcleo. La bobina con más vueltas tiene un voltaje mayor y una corriente menor que la que tiene menos vueltas.



La que se encuentra en contacto con la fuente de energía se conoce como bobina primaria. La secundaria es aquella con corriente inducida. El transformador conserva la energía; el producto del voltaje y la corriente en la bobina primaria es igual al producto del voltaje y la corriente a través de la bobina secundaria. Por este motivo el efecto del transformador sobre el voltaje es inverso a su efecto sobre la corriente. Los transformadores de corriente se instalan en serie con el circuito. Los transformadores de voltaje se instalan en paralelo. Esto se puede observar en la Figura No.12. [22]

a. Tipos. Entre los transformadores de corriente se pueden clasificar de acuerdo a dos categorías; según sus aplicaciones y según su construcción por motivos de las delimitaciones de este trabajo de graduación únicamente se entenderán los de núcleo abierto y cerrado.

1) Núcleo abierto. Para estos transformadores el núcleo ferromagnético se puede separar en dos partes. Esto como se puede observar en la Figura No.13. Con estos se debe tener especial cuidado ya que no debe haber ningún tipo de imperfección en la sección transversal donde se une ya que esto puede ocasionar que no se tenga un correcto funcionamiento. De la misma manera se debe asegurar

que las mismas secciones estén en completo contacto ya que ocasionan variaciones en la transformación de corriente. [30]

Figura No. 13: Transformadores de núcleo abierto.



2) Núcleo cerrado. Para este tipo de transformador el núcleo ferromagnético está completamente cerrado por lo que este no se puede separar. Estos son un poco más confiables que los de núcleo abierto ya que no hay ningún espaciado que pueda afectar la transformación. Estos son como los mostrados en la Figura No.12. [22]

b. Material núcleo. El núcleo del transformador es una parte importante ya que afecta el rendimiento del instrumento. Algunos materiales utilizados para esto son acero al silicio, aleación de níquel, o ferrita. El material por lo general determina el precio y la precisión. La precisión es comprometida por la relación de transferencia entre la señal de entrada y salida; así como por la linealidad y la fase.

Los núcleos del transformador pueden ser abiertos o cerrados. Dependiendo del tipo se realiza su diseño para un correcto funcionamiento. El núcleo cerrado implica que el cable a medir debe ser introducido por el agujero. Lo cual implica que se debe hacer alguna desconexión o instalarlo desde un principio. En cambio el núcleo abierto permite que el sensor se instale sin hacer ninguna desconexión.

c. Efectos de transformadores de corriente. Las bobinas primarias y secundarias de un transformador están eléctricamente aisladas. El campo magnético de la primera bobina induce corriente en la segunda bobina. La corriente resultante en la segunda bobina depende de la fuerza del campo magnético y del número de vueltas en la bobina. La corriente a lo largo de la segunda bobina es proporcional a la corriente a lo largo de la bobina primaria, basada en la proporción de vueltas entre la primera y la segunda bobina. Esto se puede expresar de la siguiente manera en Ec.3.1:

$$I_s = \text{Relación Num Vueltas} * I_p \quad \text{Ec.3.1}$$

Donde  $I_s$  es la corriente del devanado secundario e  $I_p$  es la corriente del devanado primario como en Ec.3.2.

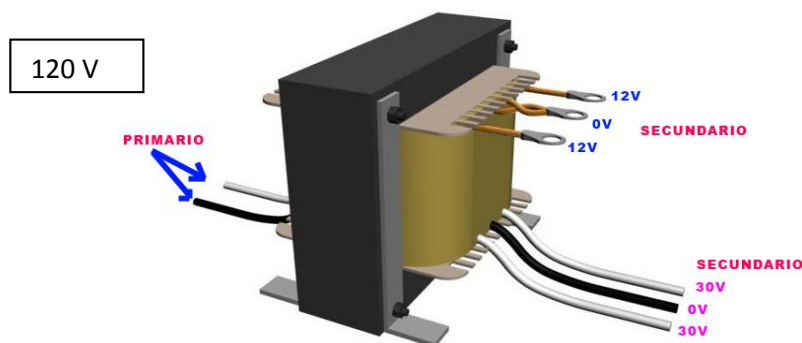
$$\text{Relación Num Vueltas} = \frac{\text{Numero de vueltas Primario}}{\text{Numero de vueltas Secundario}} \quad \text{Ec.3.2}$$

En el caso para medir la energía en residencias el devanado primario es el cable vivo o bien puede ser el neutro también, este es el que pasa a través del agujero del transductor. El devanado secundario es el cable enrollado a través del núcleo de acero. La corriente alterna luye en el devanado primario produciendo así un campo magnético que luego induce una corriente en el segundo devanado. [21]

3. **Sensor de voltaje.** De acuerdo a la aplicación del trabajo de graduación para este tipo de sensor se utilizó un transformador de voltaje no invasivo el cual es un transformador de voltaje AC a voltaje AC. Este sensor es necesario para calcular la potencia real, aparente y el factor de potencia. Con este transformador se logra tener cierto aislamiento del voltaje AC grande 120 V ac comparado al voltaje de micro controladores.

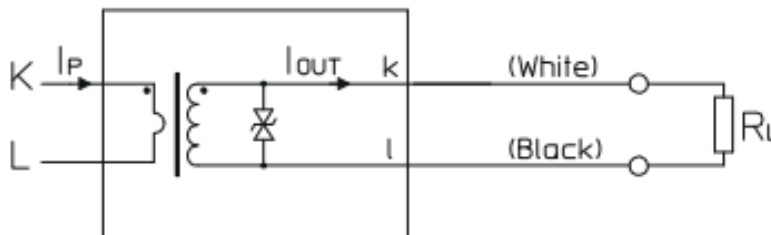
De igual manera que los transformadores de corriente la salida de estos transformadores en el devanado secundario depende de la señal del devanado secundario y de la relación del número de vueltos de cada uno de los devanados. En la siguiente figura se puede observar un transformador de voltaje AC común.

Figura No. 14: Transformador de voltaje



4. **Resistencia de carga.** La corriente de salida generada por el devanado secundario se debe utilizar con una resistencia de carga. Esta cierra el circuito secundario. Esta resistencia es dimensionada de tal manera que produzca una señal de voltaje proporcional a la corriente. Se debe de asegurarse que sea lo suficientemente pequeña para asegurar que núcleo no se sature. Luego de colocar la resistencia de carga se produce un voltaje alterno. Esto se puede observar en la Figura No.15. [24]

Figura No. 15: Transformador de corriente con resistencia de carga



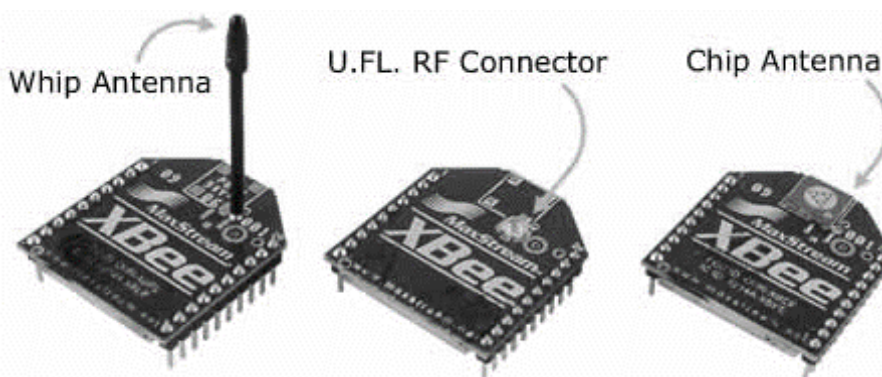
## D. Comunicación por radiofrecuencia

Esta es una forma de telecomunicación que se realiza a través de ondas de radio u ondas de Hertz. Este espectro es el menos energético del espectro electromagnético, situada entre unos 3 kKz y unos 300 GHz. El hercio es la unidad de medida de la frecuencia y corresponde a un ciclo por segundo. Este tipo de comunicación depende de las bandas de frecuencia que se utilicen por lo que se tiene bandas de baja, media, alta y ultra alta frecuencia. [20] [11]

1. **Transmisión y recepción.** Una onda de radio se origina cuando una partícula como los son los electrones se excitan a una frecuencia situada en la zona de radiofrecuencia. Cuando está actúa sobre un conductor eléctrico, induce un movimiento de la corriente eléctrica que puede ser transformado en señales de audio u otro tipo de señales portadoras de información. El emisor tiene como función producir una onda portadora, cuyas características son modificadas en función de las señales a transmitir. Por lo que propaga la onda portadora modulada para que el receptor la capte y la “demodule” para hacer llegar al espectador solo la señal transmitida.

2. **Módulos Xbee** Estos son módulos de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4 o Zigbee; desarrollados por Digi International. Estos son utilizados generalmente en automatización de casas, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos, aparatos domésticos, alarmas entre otras aplicaciones. Estos fueron diseñados para una comunicación punto a punto. Los módulos XBee proveen dos formas amigables de comunicación: Transmisión serial transparente y el módulo API que provee varias ventajas de redes. En la siguiente Figura No.16 se pueden observar los módulos. [33]

Figura No. 16: Módulos XBee



a. **Generalidades.** Estos módulos ofrecen una velocidad de comunicación desde 1,200 hasta 115,200 baudios, también disponen de varias pines como I/O que puede configurarse para diferentes funciones. Estos tienen convertidores ADC, 8 entradas digitales y pines de Rx y Tx para comunicación usart. Entra las características a tener en cuenta es que estos son módulos en base a microcontroladores por lo que tiene soluciones a problemas de fallo de trama y ruidos. Los módulos se

comunican con un dispositivo RS232 a niveles TTL, pero pueden conectarse directamente a placas de desarrollo. [33]

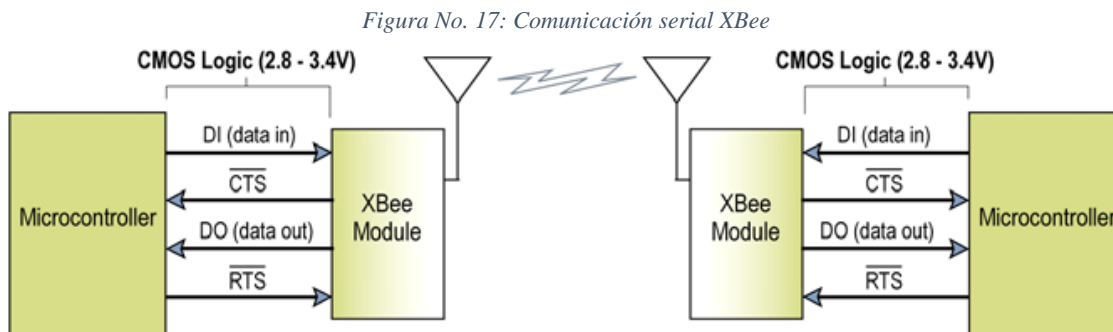
Los módulos pueden ser programados a través de una hyperterminal y una interfase serial con un MAX232 y una serie de comandos llamados AT. Existen dos tipos de interfaces, serial y USB que pueden ser utilizadas para programar los módulos Xbee con un software del fabricante llamado X-CTU.

b. Principales características. Los módulos Xbee son económicos, poderosos y fáciles de utilizar. Algunas sus principales características son:

- ◆ Buen alcance: hasta 300ft (100 mts) en línea vista para los módulos Xbee y hasta 1 milla (1.6 Km) para los módulos Xbee Pro.
- ◆ 9 entradas/salidas con entradas analógicas y digitales.
- ◆ Bajo consumo <50mA cuando están en funcionamiento y <10uA cuando están en modo sleep.
- ◆ Interfaz serial.
- ◆ 65,000 direcciones para cada uno de los 16 canales disponibles. Se pueden tener muchos de estos dispositivos en una misma red.

c. Modelos de operación. Existen dos formas de comunicación que son las más utilizadas en los módulos XBee.

1) Modo transparente. Este se comporta como un cable de forma que el puerto serial puede ser transmitido como se hace normalmente. Esta es la forma más sencilla donde se pueden conectar dos dispositivos con un baud rate determinado. Los dos deben de tener la misma velocidad de transmisión. Por lo que si los dos dispositivos manejan módulos UART se puede conectar de la siguiente manera en la Figura No.17 [33].



En el diagrama anterior se puede observar que los microcontroladores se comunican mediante las líneas de entrada y salida de datos y el reloj que es ajustado por los baudios.

2) Modo API. Esta es una forma más compleja de comunicación. En esta modalidad se puede generar una red de módulos Xbee, pues se puede programar un Xbee para que trabaje como repetidor de señal que se conoce como hub, además de otras funciones que permiten tener ventajas en protocolos de comunicación. [30]

d. Protocolo ZigBee. Este es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para la utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. [18]

1) Características Zigbee. Las comunicaciones zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. El alcance depende de la potencia de transmisión del tipo de antena, con antena dipolo para una potencia de transmisión de 1mW el alcance es de 100m en línea vista y 30 metros en interiores. [18]

Entre las necesidades que satisface el módulo se encuentran:

- ◆ Bajo costo
- ◆ Ultra-Bajo consumo de potencia.
- ◆ Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- ◆ Instalación barata y simple.
- ◆ Redes flexibles y extensibles.

Enrutamiento: Las tablas de enrutamiento definen cómo en una radio pueden pasar mensajes a través de una serie de otros radios a lo largo del camino a su destino final.

Creación de redes AD hoc: Este es un proceso automatizado que crea toda una red de radios sobre el funcionamiento sin ninguna intervención humana.

Auto recuperación de mallas: Esta es una característica en el que proceso automáticamente se da cuenta de si una o más radios no se encuentran en la red y vuelve a configurar la red para reparar las rutas dañadas. [34]

e. Elementos de una red Zigbee.

1) Coordinador. Tiene la función de formar una red. Establecer el canal de comunicaciones y del identificador de red. El coordinador hace las funciones de router, esto es para participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información. [34]

2) Routers. Este es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Su función es retransmitir paquetes de otros routers o de puntos terminales.

3) End Device – Punto final. Los puntos finales no tienen la capacidad de enrutar paquetes, no puede enviar información directamente a otro end device.

4) Direccionamiento. La dirección de 64 bits es estática y viene por defecto de fábrica y es única para cada dispositivo. La dirección de 16 bits es dinámica y se le asigna por el coordinador cuando el dispositivo entra en una red.

5) Dirección PAN. Es una dirección de 16 bits que es la dirección de red. Con este módulo se pueden generar 65,536 PAN diferentes, cada uno con la capacidad de generar la misma cantidad de direcciones para otros nodos.

6) Canal. Un canal se refiere a la sintonía de la frecuencia a la cual se realiza la comunicación. Se disponen de 16 canales según el protocolo IEEE 802.15.4. Entre cada canal deben existir 5MHz de diferencia, partiendo de una frecuencia base de 2.405 GHz hasta una de 2.450 GHz.

7) Topología de red. Entre estas topologías de red se encuentran las de estrellas, punto a punto, malla y de árbol [24]

a) Punto a Punto. Es la topología más simple ya que es un enlace permanente entre dos puntos finales. Esta topología punto a punto conmutada es el modelo básico de la telefonía convencional. [25]

## E. Reloj en tiempo real

Este término se utiliza para los relojes que llevan el tiempo con un chip integrado, se usa para evitar la confusión con los relojes de hardware ordinarios que son señales cuadradas que dirigen o sincronizan los circuitos digitales. Por lo general conocido como RTC por sus siglas en inglés “Real Time Clock” Este es un reloj de microcontroladores incluido en un circuito integrado que mantiene la hora actual. Por lo general estos dispositivos están presentes en la mayoría de aparatos electrónicos que necesitan guardar el tiempo exacto. [27]

1. **Medición de tiempo.** La mayoría de RTCs usan un oscilador de cristal. Utilizan uno con una frecuencia de 32.768 kHz, esto debido a que es la misma frecuencia que los relojes de cuarzo y esta es una exacta frecuencia de 215 ciclos por segundo, que es una relación muy utilizada y práctica para uso con circuitos de contadores binarios simples. [13]

2. **Fuente de alimentación.** Estos dispositivos utilizan generalmente la misma fuente de alimentación que el dispositivo principal, pero contienen una fuente de alimentación alternativa, que puede seguir midiendo el tiempo y no perder la configuración si la fuente principal se apaga o no está disponible. Estas fuentes de alimentación alternativa normalmente usan una batería de litio. En los nuevos sistemas se implementa un super capacitor, para que sean fácilmente recargables. [13]

3. **Propósito y ventajas.** A pesar que el tiempo en los dispositivos integrados como los microcontroladores se puede realizar con el mismo oscilador y programación usar un RTC tiene los siguientes beneficios: [13]

- ◆ Bajo consumo de energía.
- ◆ Libera de trabajo al sistema principal para que pueda dedicarse a tareas más críticas.
- ◆ En ciertas aplicaciones resulta ser más preciso.
- ◆ Contiene memoria RAM que puede utilizarse posteriormente.
- ◆ Puede utilizar alimentación alterna.

4. **RTC integrado DS1307.** Los relojes calendario no suelen ser el elemento principal en los dispositivos electrónicos, sino un aditamento que es preferible que opere independientemente, incluso con su propia fuente de alimentación. Por ejemplo, el procesador de una computadora podrá ser muy potente pero aun así el reloj del sistema va en otro chip y usa su propia batería. Justificada la necesidad de los RTCs, existe una casi incalculable cantidad de RTCs de diversas marcas y de diversas características dependiendo de la aplicación y precisión que se requiera. Para este trabajo de graduación se decidió utilizar un circuito integrado DS1307 de la empresa Maxim Integrated. [27]

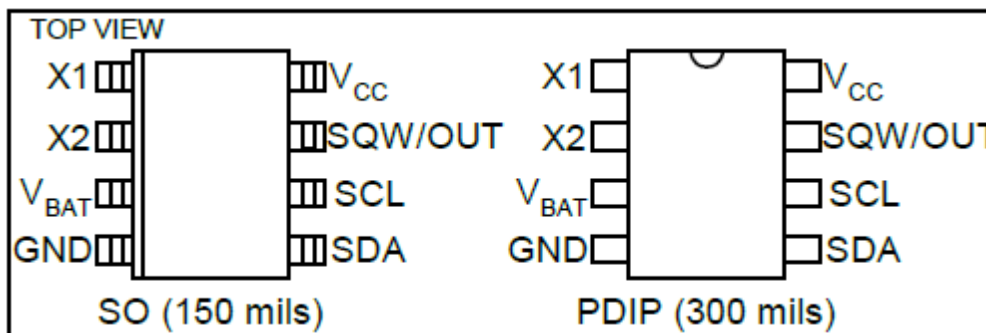
a. **Generalidades DS1307.** El circuito integrado DS1307 es un reloj de tiempo real exacto, que automáticamente mantiene el tiempo y la fecha actual, incluyendo compensación para meses de 31 días y saltos de año. La dirección y los datos son transferidos por el puerto I2C. Este también tiene la capacidad de operar en un formato de 24 horas o en formato de 12 horas AM y PM.

El DS1307 es uno de los RTCs I2C más fáciles de usar y sus principales características son:

- ◆ Computa los segundos, minutos, horas, días de la semana, días del mes, meses y años (de 2000 hasta 2099).
- ◆ Aparte de los registros de hora y fecha del RTC, ofrece una SRAM de 56 bytes que se podrían usar como RAM extendida del microcontrolador.
- ◆ Posee el pin SQW/OUT, en donde se puede obtener señal cuadrada de frecuencia programable.
- ◆ Alimentación alterna usando una batería. En ausencia o deficiencia de la alimentación principal de Vcc, el DS1307 pasa automáticamente a alimentarse de la batería.
- ◆ Soporta el protocolo I2C en Standard Mode (máxima frecuencia de reloj de 100 kHz) .

b. Esquemático. Para este dispositivo se cuenta con el siguiente empaquetado que se muestra en la Figura No.18. En esta figura se describen la distribución de pines.

Figura No. 18: Configuración pines RTC



A continuación se resume la descripción de sus pines:

- ◆ SDA y SCL: Pines de interface I2C.
- ◆ V<sub>CC</sub> y GND: Pines de alimentación. V<sub>CC</sub> es típicamente de 5 V.
- ◆ X1 y X2: Pines para conectar un cristal de cuarzo estándar externo de 32.768 KHz. Los capacitores para estabilizar el circuito oscilador se incluyen internamente.
- ◆ V<sub>BAT</sub>: Pin para conectar opcionalmente una batería de 2.0 a 3.5 V. Normalmente el DS1307 operará con su fuente del pin V<sub>CC</sub>. En ausencia de dicha tensión o cuando su nivel caiga por debajo de V<sub>BAT</sub>, el DS1307 empezará a trabajar con la batería.
- ◆ SQW/OUT: el DS1307 puede sacar una onda cuadrada de cuatro frecuencias: 1 Hz, 4.096 kHz, 8.192 kHz ó 32.768 kHz. Se configura con el registro de control.

## F. Almacenamiento de datos

Estos son componentes que leen o escriben datos en medios o soportes de almacenamiento y juntos conforman la memoria o almacenamiento secundario de algún otro dispositivo como lo son microprocesadores y microcontroladores. [32]

La mayoría de datos se almacenan en las llamadas memorias secundarias, especialmente en discos duros, aunque también suelen emplearse discos ópticos y memorias flash en dispositivos de menor capacidad de procesamiento.

Las razones por las cuales las bases de datos se almacenan en memorias secundarias son:

- ◆ En general, las bases de datos son demasiado grandes para entrar en la memoria primaria.

- ♦ La memoria secundaria suele ser más económica que la memoria primaria.
- ♦ La memoria secundaria es más útil para el almacenamiento de datos permanentes, puesto que la memoria primaria es volátil.

1. **Almacenamiento primario.** La memoria primaria está directamente conectada a la CPU del dispositivo. Debe estar presente para que la CPU funcione correctamente. La memoria principal contiene los programas en ejecución y los datos con que operan. Se puede transferir información muy rápidamente entre un registro del microprocesador y localizaciones del almacenamiento principal. En las computadoras modernas se usan memorias de acceso aleatorio basadas en electrónica del estado sólido, que está directamente conectada a la CPU a través de buses de direcciones, datos y control. [35]

2. **Almacenamiento secundario.** La memoria secundaria requiere que la computadora use sus canales de entrada/salida para acceder a la información y se utiliza para almacenamiento a largo plazo de información persistente. La memoria secundaria también se llama "de almacenamiento masivo". Un disco duro es un ejemplo de almacenamiento secundario. Habitualmente, la memoria secundaria o de almacenamiento masivo tiene mayor capacidad que la memoria primaria, pero es mucho más lenta. [3]

### 3. Almacenamiento para microcontroladores.

a. **RAM.** Los microcontroladores PIC tienen una serie de registros que funcionan como una RAM de propósito general. Los registros de propósito específico para los recursos de hardware disponibles dentro del propio chip también están direccionados en la RAM. La direccionalidad de la memoria varía dependiendo de la línea de dispositivos, y todos los dispositivos PIC tienen algún tipo de mecanismo de manipulación de bancos de memoria que pueden ser usados para acceder memoria externa o adicional. Las series más recientes de dispositivos disponen de funciones que pueden cubrir todo el espacio direccionable, independientemente del banco de memoria seleccionado. En los dispositivos anteriores, esto debía lograrse mediante el uso del acumulador. [3]

Para implementar direccionamiento indirecto, se usa un registro de "selección de registro de archivo" (FSR) y uno de "registro indirecto" (INDF): Un número de registro es escrito en el FSR, haciendo que las lecturas o escrituras al INDF serán realmente hacia o desde el registro apuntado por el FSR. Los dispositivos más recientes extienden este concepto con post y pre incrementos/decrementos para mayor eficiencia al acceder secuencialmente a la información almacenada. Esto permite que se pueda tratar al FSR como un puntero de pila.

b. **ROM.** La memoria ROM se utiliza para guardar permanentemente el programa que se está ejecutando. El tamaño de programa que se puede escribir depende del tamaño de esta memoria. Los microcontroladores actuales normalmente utilizan el direccionamiento de 16 bits, que significa que son capaces de direccionar hasta 64 Kb de memoria, o sea 65535 localidades. Por ejemplo, si usted es

principiante, su programa excederá pocas veces el límite de varios cientos de instrucciones. Hay varios tipos de memoria ROM. [35]

c. **EEPROM.** Por sus siglas en inglés la EEPROM significa “Electrically Erasable Programmable ROM” que quiere decir ROM programable y borrable eléctricamente. El contenido de la EEPROM se puede cambiar durante el funcionamiento (similar a la RAM), pero se queda permanentemente guardado después de la pérdida de la fuente de alimentación (similar a la ROM). Por lo tanto, la EEPROM se utiliza con frecuencia para almacenar los valores creados durante el funcionamiento, que tienen que estar permanentemente guardados. Por ejemplo, si usted ha diseñado una llave electrónica o una alarma, sería estupendo permitir al usuario crear e introducir una contraseña por su cuenta. Por supuesto, la nueva contraseña tiene que estar guardada al apagar la fuente de alimentación. En tal caso una solución perfecta es el microcontrolador con una EEPROM embebida.

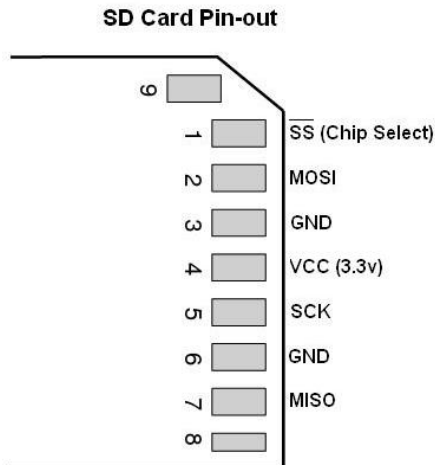
d. **Almacenamiento masivo con tarjeta SD.** El espacio disponible para almacenar datos en un PIC es muy limitado, en los modelos más grandes existe algo de memoria RAM y en casi todos ellos disponemos de una pequeña cantidad de memoria EEPROM, para almacenar grandes cantidades de datos, como históricos de temperaturas, o guardar imágenes o textos complejos, se debe recurrir a algún elemento externo. [19]

1) **Memoria Secure Digital.** Secure Digital (SD) es un formato de tarjeta de memoria inventado por Panasonic. Se utiliza en dispositivos portátiles tales como cámaras fotográficas digitales, PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles e incluso videoconsolas. [19]

Los dispositivos con ranuras SD pueden utilizar tarjetas MMC, que son más finas, pero las tarjetas SD no caben en las ranuras MMC. Asimismo, se pueden utilizar en las ranuras de Compact Flash o de PC Card con un adaptador. Sus variantes MiniSD y MicroSD se pueden utilizar, también directamente, en ranuras SD mediante un adaptador. Hay algunas tarjetas SD que tienen un conector USB integrado con un doble propósito, y hay lectores que permiten que las tarjetas SD sean accesibles por medio de muchos puertos de conectividad como USB, FireWire y el puerto paralelo común. Las tarjetas SD también son accesibles mediante un disquete usando un adaptador FlashPath. [35]

A continuación se muestra una imagen de los pines de una tarjeta MicroSD en la Figura No.19. El pin MOSI quiere decir donde le ingresan los datos, SCK es la señal de reloj, MISO es la salida de datos. [19]

*Figura No. 19: Pines de tarjeta SD.*



## G. Despliegue

Muchos dispositivos utilizan pantallas para representar al usuario información procesada o almacenada, que el usuario desea utilizar. Entre estos dispositivos se encuentran los números de siete segmentos, pantallas lcd y GLCD, entre otras pantalla que tiene una mayor resolución.

En muchos casos la información también es enviada a computadoras que interpretan y dan forma para desplegarlas en las pantallas, este también es el caso de aparatos telefónicos que son de alto rendimiento. Hay varias opciones de despliegue que se pueden utilizar para este trabajo de graduación se presentará únicamente la pantalla GLCD.

1. **Pantalla GLCD.** Una Pantalla Gráfica de Cristal Líquida o GLCD (acrónimo del inglés Graphic Liquid Crystal Display) es una pantalla plana formada por una matriz de píxeles monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica, hay versiones de pantallas con diferentes controladores embebidos, como el Samsung KS0107, Samsung KS0108 o el Toshiba T6963. [7]

Esta dispone de una memoria RAM interna del mismo tamaño de la capacidad que dispone la pantalla, por ejemplo si una pantalla tiene un tamaño de 128 píxeles de largo por 64 píxeles de alto (128x64) tiene una memoria RAM interna de la misma capacidad (128x64). Por lo general son manejados por microcontroladores para la configuración y utilización de la misma.

a. **Tamaños.** Hay varios tamaños y por lo general los expresan por las cantidad de píxeles que ellos dispones. [7]

240x128, 240x64, 160x128, 128x128, 128x66, 128x64

Hay de otros tamaños pero estos son los más conocidos y usados. En la siguiente Figura No. IV-20 se puede observar una imagen de una pantalla GLCD común.

Figura No. 20: Pantalla GLC 128x64



b. Características de una GLCD de 128x64.

- ◆ Conformado por una matriz de puntos de visualización de 128 pixeles de largo por 64 pixeles de alto.
- ◆ Su iluminación de fondo está entre verde-amarillo cuando se enciende.
- ◆ Fácil manejo con microprocesadores de 8-Bits.
- ◆ Bajo poder de consumo.
- ◆ Contiene dos controladores internos un KS0108B yKS0107B.

## V. MARCO METODOLÓGICO

La metodología para el desarrollo del trabajo de graduación consistió primeramente en investigación de los diferentes elementos que conformarán el dispositivo, cómo lo son el sensor de corriente, microcontroladores, módulo RF, memoria, pantalla LCD. También se investigó como ensamblar todo para que funcionen conjuntamente. Posteriormente se realizó el diseño de circuitos de cada uno de los elementos y el circuito en conjunto. Después de finalizado el diseño se procedió a construir y probar cada uno de los circuitos. Si no se tuvo el correcto funcionamiento se modificó el diseño y se volvió a hacer pruebas. Esto se hizo para cada uno de los módulos. Finalmente se acopló todo y se hicieron pruebas.

Para este trabajo de graduación se realizaron las siguientes actividades para lograr contemplar los objetivos del mismo.

- ◆ Investigación de términos y cálculos de potencia.
- ◆ Investigación de sensores para corriente y voltaje.
- ◆ Investigación de módulos de radio frecuencia.
- ◆ Investigación de módulo de despliegue de información en pantalla.
- ◆ Determinación de sensor y diseño de circuito medidor de voltaje y amperaje.
- ◆ Determinación de módulo de radio frecuencia y despliegue.
- ◆ Compra y construcción de sensor y circuito medidor de voltaje y amperaje.
- ◆ Prueba de sensor y circuito medidor de voltaje y amperaje.
- ◆ Modificaciones en el diseño del sensor y medidor.
- ◆ Compra y construcción de módulo de radio frecuencia.
- ◆ Compra y construcción de receptor RF.
- ◆ Prueba de módulo de radio frecuencia.
- ◆ Modificaciones en el módulo de radio frecuencia.
- ◆ Compra y construcción de circuito pantalla de despliegue.
- ◆ Prueba de pantalla de despliegue.
- ◆ Modificaciones de circuito de pantalla de despliegue.
- ◆ Unión de sensor, módulo RF y despliegue de información.
- ◆ Prueba de medidor completo.

- ◆ Diseño de esquemáticos y PCB.
- ◆ Construcción de circuito en placa.
- ◆ Prueba de medidor final.



## VI. MARCO PRÁCTICO Y RESULTADOS

### A. Diseño de dispositivo

Este sistema consiste en dos dispositivos separados que se comunican entre ellos. Juntos conforman un sistema de medición y despliegue del consumo eléctrico. El primer dispositivo se encarga de medir el voltaje y la corriente, interpretar los datos, realizar cálculos con ellos y posteriormente transmitirlos al otro dispositivo. El segundo dispositivo se encarga de recibir estos datos, de almacenarlos y de desplegarlos.

Los dos dispositivos que realizan el sistema están formados por los siguientes módulos de la Figura No.21 y No.22.

Figura No. 21: Módulos de dispositivo 1.

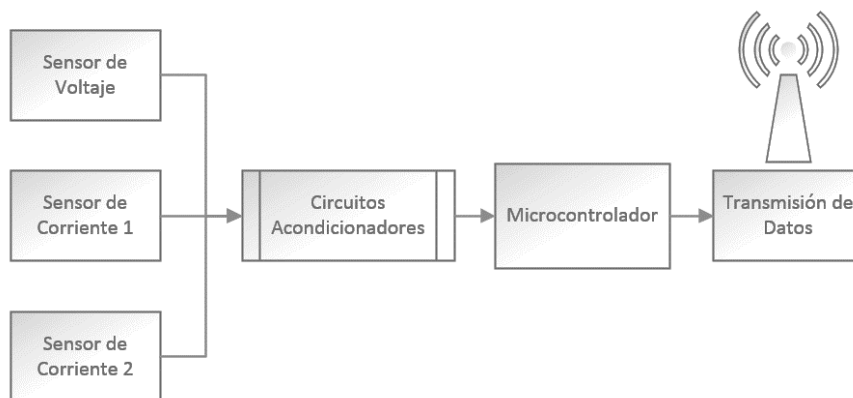
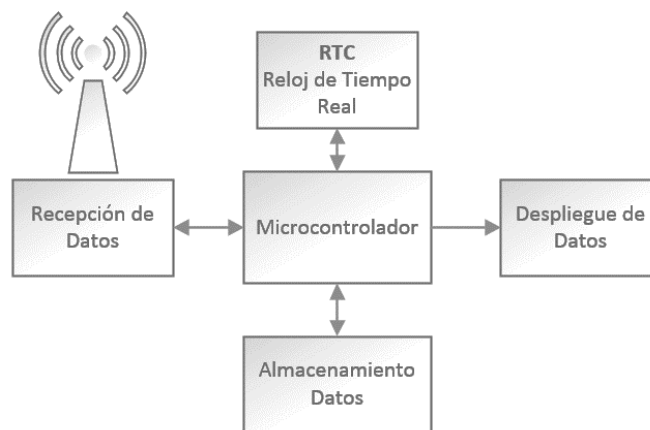


Figura No. 22: Módulos de dispositivo 2.



La metodología a seguir es diseñar el dispositivo de medición y luego el dispositivo de despliegue. Por lo que a lo largo de este capítulo se irá describiendo el diseño, la implementación y resultado de cada uno de los módulos.

## B. Consumo eléctrico de corriente de establecimiento doméstico.

Para realizar una medición correcta del establecimiento doméstico, primeramente se buscó determinar cuánto era el consumo promedio de un hogar regular. Para esto se realizaron dos métodos. El primero consistió en considerar la cantidad y el tipo de dispositivo que generalmente se usarían, como lo son electrodomésticos, televisores, etc. Utilizando tablas para la potencia promedio de este tipo de aparatos, se obtuvo la potencia total requerida para luego obtener la corriente.

Para el segundo método se tomaron mediciones con un amperímetro de gancho de las líneas de alimentación del tablero principal para determinar la cantidad de corriente que demandaba la casa. Luego se compararon estos dos métodos y se determinó cuáles son los valores máximos.

## C. Valores de medición máximos y mínimos.

Como primer instancia se realizó la Tabla No.1 para poder determinar la potencia requerida del hogar promedio. La lista de estos elementos son los dispositivos que generalmente están encendidos en la noche. Se asumió que todos estos dispositivos estarían funcionando al mismo tiempo.

*Tabla No. 1: Potencia de elementos.*

<b>Elemento</b>	<b>Potencia requerida [Watts]</b>
<b>Estufa</b>	3,000
<b>Calentador de agua</b>	2,475
<b>Bomba de agua</b>	400
<b>Secadora de ropa</b>	5,600
<b>Horno de estufa</b>	5,300
<b>23 Bombillas (100 watts cada una)</b>	2,300
<b>Televisor</b>	120
<b>Radio</b>	40
<b>Dvd</b>	25
<b>Cafetera</b>	750
<b>Refrigeradora</b>	250
<b>Computadora</b>	400
<b>Total</b>	20,660

Si todos estos elementos están funcionando al mismo tiempo y con un mismo voltaje de 240 V/AC se tiene un pico de 20,660 watts y al aplicar la ecuación de potencia eléctrica y despejar para la corriente se tiene Ec.4.1:

$$I = \frac{P \text{ [Watts]}}{V \text{ [Volts]}} = [\text{Amps}] \quad \text{Ec.4.1}$$

Por lo que con los datos de la tabla:

$$I = \frac{20,660 \text{ [Watts]}}{240 \text{ [Volts]}} = 86.08 \text{ [Ampers]} \quad \text{Ec.4.2}$$

Debido a que esto se divide en dos hilos, cada hilo puede llegar a tener un valor pico de aproximadamente 43.04 amp. Por lo que el rango de medición del sensor estaría entre 0 amp – 43.04 amp.

1. Acometida eléctrica doméstica. Para el análisis de valores y datos de importancia para el desarrollo de esta investigación se analizó y se realizaron pruebas en una acometida de un hogar común en la ciudad de Guatemala. Se estudió la acometida con los siguientes objetivos:

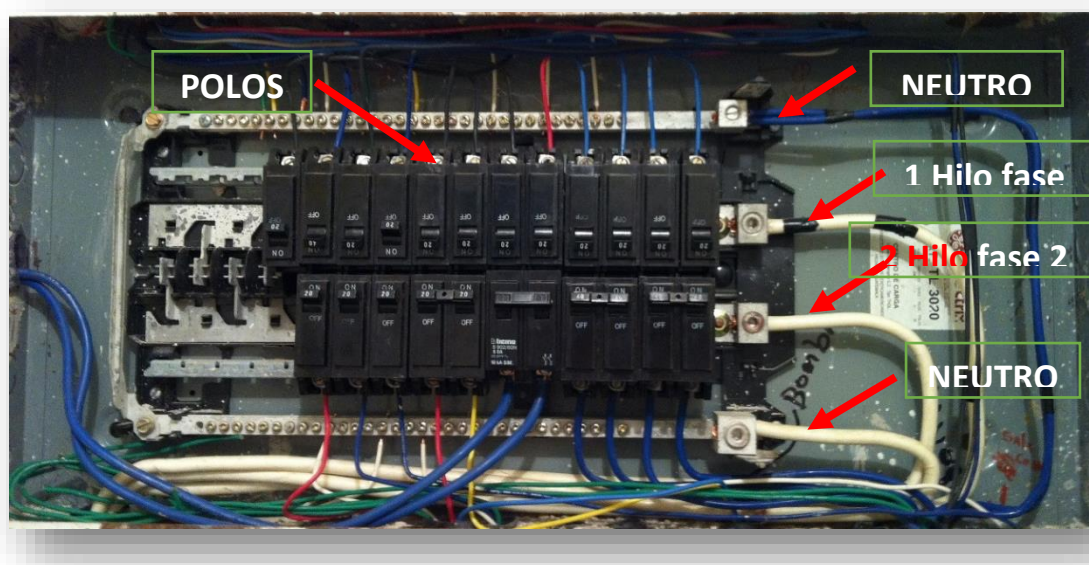
- ◆ Determinar las conexiones del mismo.
- ◆ Comprender las interconexiones del mismo
- ◆ Determinar y tomar mediciones de los voltajes y las corrientes.
- ◆ Determinar las dimensiones del mismo. Tanto del espacio como de los calibres de los cables que se utilizan.
- ◆ Verificar las conexiones de los hilos con lo investigado en la teoría.

Se utilizó un tablero principal de una casa doméstica. Donde se interconectan las líneas que provienen de los postes de electricidad de la calle. Las características son las siguientes.

- ◆ Conexión Monofásica de 3 hilos.
- ◆ 120/240 Volts
- ◆ 200 Amperios
- ◆ 30 Polos ( En este caso únicamente se utilizan 26) Las diferentes conexiones de tomacorrientes, Bombillas y otros dispositivos eléctricos están distribuidos en los polos de arriba y en los polos de abajo).

2. Medición de voltaje y corriente. A continuación se puede observar una imagen con los diferentes componentes, en la Figura No.23.

Figura No. 23: Tablero Principal Doméstico



Luego de haber ubicado los hilos principales se decidió tomar mediciones. En este tablero se tomaron las siguientes mediciones de voltaje:

Tabla No. 2: Mediciones de voltaje

	Voltajes (volts)					
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio	Valor Pico
<b>Hilo 1</b>	120.4	118.3	119.2	117.9	118.9	120.4
<b>Hilo 2</b>	120.3	118.1	118.8	118.1	118.8	120.3

Luego se realizaron varias mediciones de corriente de acuerdo a diferentes demandas energéticas del lugar. Para determinar la corriente real de cada una de los hilos se procedió a realizar mediciones con un amperímetro de gancho. Se realizaron cuatro diferentes muestras en las cuales se fue aumentando la carga del sistema. Es decir se encendieron más dispositivos eléctricos conectados al tablero principal lo cual refleja un aumento de corriente en los hilos. Se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla No. 3: Mediciones de corriente

	Corriente (amperios)					
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio	Valor Pico
<b>Hilo 1</b>	8.1	22.9	46.8	75.7	38.4	75.7
<b>Hilo 2</b>	2.2	10.3	36.5	65.3	28.6	65.3

A continuación se presenta una tabla con los dispositivos conectados cuando se obtuvieron los valores pico.

Tabla No. 4: Dispositivos conectados con valor pico

Dispositivos conectados
Estufa eléctrica
10 bombillas de 100W
Calentador de agua
2 Televisores
Reproductor de DVD
Bomba de agua
2 Computadoras.

3. Determinar los valores que debe medir el sensor de voltaje. De acuerdo a los valores medidos de la tabla No. VI.2 el valor máximo que debe de tener el rango del sensor de voltaje es de 120.4 V/AC RMS y 120.3V/AC RMS respecto al neutro.

4. Determinar los valores que debe medir el sensor de corriente. Con los datos anteriores se puede concluir que los valores máximos y mínimos de operación del sistema son:

- ◆ Valor máximo 75.7 amperios
- ◆ Valor mínimo 2.2 amperios.

Para asegurarse que el sensor pudiese medir incluso los picos de corriente del sistema se decidió escoger un sensor de 100 amperios RMS. Es de vital importancia indicar que todos los valores calculados y medidos son valores RMS.

5. Estimación teórica vs medición de corriente. Para el dato de corriente estimada con la potencia de consumo de cada dispositivo se obtuvo que la corriente máxima fue de 43.04 amp y la realizada por las mediciones es de 75.7 amp lo cual es bastante la diferencia de 33 amp. Esto se debió a que los elementos eléctricos utilizados en la medición no fueron todos los mismos que los de la Tabla No.1. Los elementos probablemente conectados en ese momento tenían una mayor potencia. Esto se reflejó en una mayor medida de corriente por medio del amperímetro.

## D. Sensores

Para este trabajo de graduación se decidieron utilizar dos sensores uno de corriente y el otro de voltaje que se basan en la forma en que funcionan los transformadores.

1. Consideraciones del sensor – Transformador de voltaje. Para poder escoger correctamente el sensor se tuvieron en cuenta las siguientes características:

- ◆ Sensor no invasivo
- ◆ Rango de medición de acuerdo a lo medido en el tablero principal.
- ◆ Ocupar poco espacio

Para este sensor se utilizó un transformador de voltaje AC. En este sensor se introduce en el devanado primero una señal de 120 V/AC y en el devanado secundario se obtiene una señal bastante más pequeña de voltaje siempre en corriente alterna en función de la relación de vueltas del embobinado del transformador.

a. Característica principales de sensor – Transformador de voltaje

*Tabla No. 5: Sensor seleccionado.*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Modelo</b>	OnTop AC Adapter
<b>Entrada</b>	120 V/AC @ 60 Hz
<b>Salida</b>	10.8 V/AC @ 60 Hz
<b>Corriente de salida</b>	700 mA
<b>Relación de vueltas</b>	10:1
<b>Potencia</b>	8 watts
<b>Tamaño carcasa</b>	57 X 48 X 37 mm

En la siguiente Figura No.24 y 25 Se puede observar una fotografía del sensor – transformador de voltaje utilizado.

*Figura No. 24: Parte frontal sensor - Transformador de voltaje.*



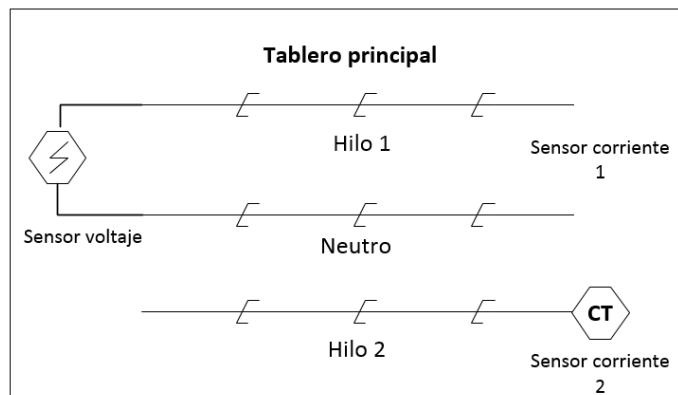
Figura No. 25: Vista posterior sensor - Transformador de voltaje.



Como se puede observar en la figura este tipo de sensor no necesita ningún tipo de conexión con el tablero principal si no que solamente se conecta al toma corriente para medir el voltaje.

La conexión es como se muestra en la siguiente Figura No.26.

Figura No. 26: Conexión de sensores en tablero.



Es importante mencionar que esta medición de voltaje se está usando para realizar los cálculos de los dos hilos del tablero principal. Es decir únicamente se está midiendo el voltaje de uno de los hilos, el hilo que se mida dependerá del lugar donde se coloque el sensor, si el tomacorriente está conectado al primero o segundo hilo.

b. Consideraciones del sensor de corriente. Para poder escoger correctamente el sensor se tuvieron en cuenta las siguientes características.

- ♣ Sensor no invasivo.
- ♣ Valores de medición máximos y mínimos.

- ◆ Funcionamiento lineal en un determinado rango.
- ◆ Espacio geométrico del sensor.

1) Funcionamiento lineal en un determinado rango. Para poder escoger el sensor es importante tomar en cuenta el rango de funcionamiento del sensor donde este tiene resultados de salida de una forma lineal. Es decir que la salida refleje en una forma lineal el valor de entrada.

2) Espacio geométrico del sensor. Debido a que uno de los objetivos del trabajo es poder realizar la medición sin hacer ningún tipo de conexión o desconexión directa del tablero principal. El Sensor a escoger debe ser un transformador de corriente de núcleo dividido el cual se puede separar y colocar alrededor de los hilos del tablero.

Con esto en cuenta se midió el diámetro de cada uno de los hilos y se obtuvo lo siguiente:

- ◆ Diámetro de cable = 10 mm

Por lo que el sensor a escoger debería de tener una apertura mayor al diámetro del cable. Otra consideración importante es que el sensor no debía de ocupar mucho espacio para no ocasionar ningún tipo de obstrucción en el tablero principal.

### 3) Características principales de sensor a utilizar.

*Tabla No. 6: Sensor de corriente seleccionado.*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Modelo</b>	LEM AC Current Transformer TT 100-SD
<b>Tipo de núcleo</b>	Núcleo abierto (de separación)
<b>Corriente nominal primaria RMS</b>	100 A
<b>Corriente de salida</b>	33.33 mA
<b>Relación de vueltas</b>	3000:1
<b>Apertura de sensado</b>	16 mm
<b>Tamaño carcasa</b>	51 X 40.5 X 18 mm

A continuación se presenta en las Figuras No.27 y 28 una vista de los sensores de corriente utilizados para este trabajo de graduación. La especificación de estos se puede observar en el apéndice en la hoja de datos.

Figura No. 27: Sensor de corriente vista inferior y frontal.



Figura No. 28: Sensor de corriente vista frontal núcleo abierto.



En la figura anterior se puede observar como el núcleo se separa para que el sensor se pueda instalar correctamente alrededor de los hilos del tablero principal. En las siguientes figuras se pueden observar instalados en el tablero.

Figura No. 29: Sensores instalados - frontal.



Figura No. 30: Sensores Instalados 2.

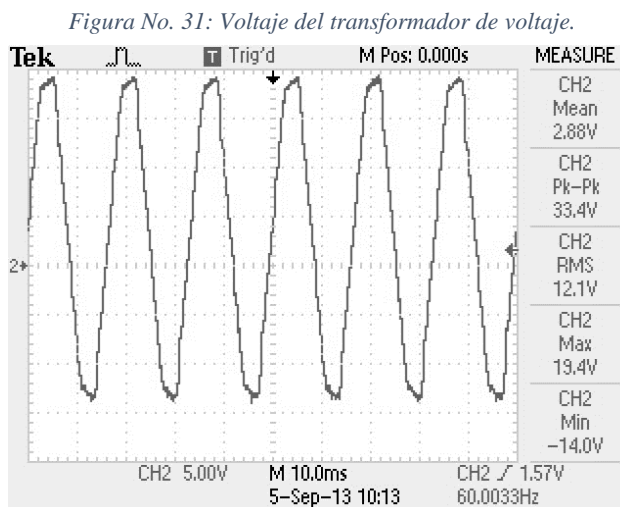


## E. Acondicionamiento de señales.

Debido a que los microcontroladores utilizan voltajes TTL es decir voltajes de 0 a 5 voltios es necesario acondicionar las señales de los sensores para que estos oscilen entre este rango y también es importante que no tengan voltajes negativos. Los dos sensores el de voltaje y el de corriente en sus salidas tiene señales sinusoidales que están centradas en 0 voltios, por lo que hay que desplazarlas para así ser interpretadas por el microcontrolador. A estas señales también se les debe de modificar la amplitud.

Para los circuitos de acondicionamiento de los sensores se debe tener en cuenta los valores de voltaje a utilizar ya que estos pueden afectar la precisión de las mediciones cuando se implemente la conversión en el microcontrolador. Otro importante factor que influye en el porcentaje de error de las mediciones son las incertidumbres de las resistencias por lo que se debe medir las resistencias reales correctamente para luego aplicar correctamente los valores de conversión.

1. Acondicionamiento sensor de voltaje. El objetivo principal es condicionar la señal del transformador de voltaje de tal manera que cumpla con los requerimientos de voltaje del microcontrolador. La señal que se obtiene del transformador de voltaje es casi sinusoidal. Las especificaciones del sensor utilizado son que en la salida se obtiene 10.8 V/AC RMS. Este dato es cuando el mismo tiene carga, pero como este se utilizará como sensor esta salida sube alrededor de un 10% esto se puede observar en la siguiente Figura. No.31.



Como se puede observar el voltaje RMS es de 11.8VAC a 12.1 VAC por lo que es un 10 % a 12% más de lo especificado. También se puede observar que la onda no está centrada en 0v sino en 2.88 V por lo que habrá que ajustarla también. El valor máximo es de 19.4 V y el valor mínimo es de -14.0 v.

Para el acondicionamiento se debe de escalar la onda y se le debe de agregar cierto offset o desplazamiento positivo de voltaje para que no haya valores negativos. Esto se puede realizar utilizando dos

divisores de voltaje uno para escalar y el otro para el offset. Esto como se puede observar en la siguiente Figura No.32.

El divisor de voltaje de las resistencias R1 y R2 sirven para escalar la señal del sensor y las resistencias de R3 y R4 son para generar el divisor de voltaje V2 que genera el desplazamiento de voltaje en la amplitud. El capacitor C1 provee una impedancia baja hacia tierra. Para asegurar el voltaje V2 del divisor se coloco un amplificador operacional en configuración de seguidor. Esto como se observa en la Figura No.33.

Figura No. 32: Circuito acondicionador de transformador de voltaje.

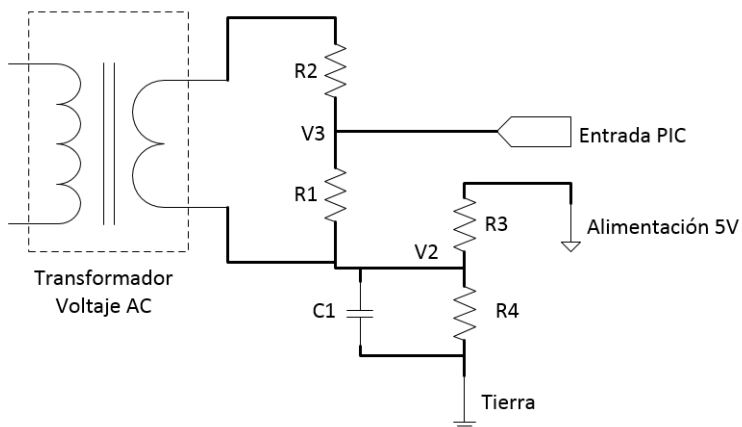
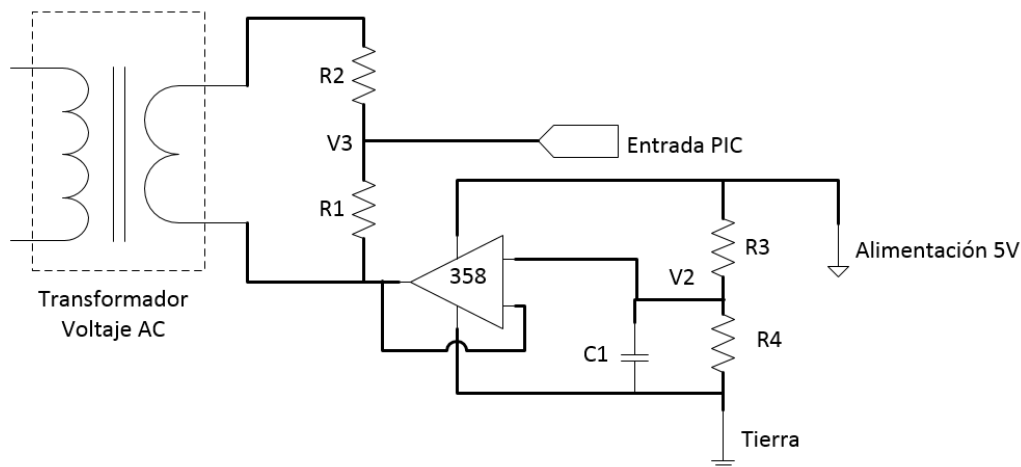


Figura No. 33: Circuito acondicionador de transformador de voltaje final



Para determinar las resistencias R1 y R2 del circuito anterior se estableció que la onda sinusoidal tuviese una amplitud de aproximadamente 2.5V para que al sumar el desplazamiento (offset) este tuviese en valor máximo de 5 V. Para este caso se escogió un valor fijo de R1 de 20k ohms por lo que despejando la ecuación de un divisor de voltaje para R2 se encontró una resistencia de 113.52K ohms. Esto como se puede observar en las siguientes ecuaciones y tabla.

Primero se calculó el divisor de voltaje para el desplazamiento (offset) de 2.5 voltios. El voltaje de alimentación se supone que es 5 voltios pero este varía  $\pm 0.3$  voltios. Por lo que esto puede afectar los cálculos

posteriormente. Esto se puede observar en la siguiente gráfica que muestra la medición del voltaje de alimentación que es 5.14V sin mayor carga.

Figura No. 34: Señal de voltaje de entrada.



- ♦ Voltaje Transformador Alimentación Esperado = 5 Voltios

Al aplicar un divisor de voltaje con resistencias se obtiene la mitad de este voltaje. Esto es:

$$V_2 = V_{ali} \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \quad \text{Ec.4.3}$$

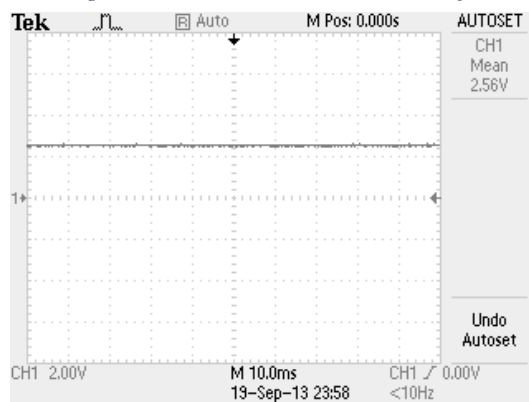
$$V_2 = 5.0 \left( \frac{470k}{470k + 470k} \right) = 2.5 \text{ V} \quad \text{Ec.4.4}$$

Este es el voltaje de offset por lo que realmente se quiere lograr un voltaje pico de 5.0 voltios así que el voltaje al que se quiere escalar es de:

$$V_{esc} = 5.0 - 2.5 = 2.5 \text{ v} \quad \text{Ec.4.5}$$

El voltaje final que se implemento fue de 2.56 Voltios esto de acuerdo a la siguiente gráfica de la Figura No.35.

Figura No. 35: Señal del divisor de voltaje.



Voltaje RMS Indicado = 10.8 Voltios. RMS

Voltaje RMS Sin carga (10% +) = 11.8 voltios RMS

$$V_{pico} = \sqrt{2} * 11.8 = 16.69 \text{ voltios} \quad \text{Ec.4.6}$$

Divisor de Voltaje (V3)  $V_3 = V_{pico} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$  Ec.4.7

Luego despejando para R2 se obtiene lo siguiente:

$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{pico} - V_3}{V_3} \right) \quad \text{Ec.4.8}$$

Como se mencionó anteriormente V3 se desea que sea 2.5V, voltaje pico es 16.69 volts y R1 se escogió como de 20K. Por lo que se tiene un valor de:

$$R_2 = 20k \left( \frac{16.69 - 2.5}{2.5} \right) = 113,520 \Omega \quad \text{Ec.4.9}$$

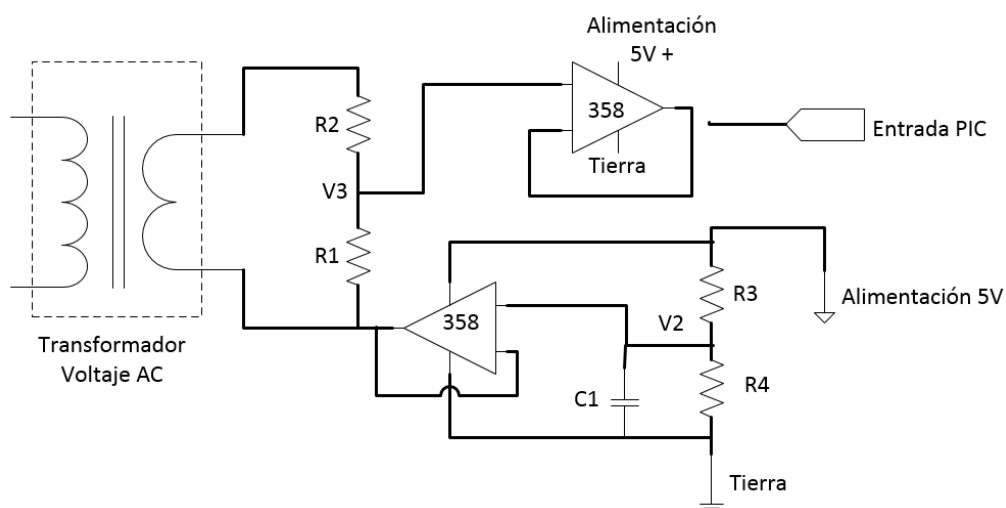
Debido a los valores de resistencia se utilizó una R2 de 113.2k  $\Omega$ . Por lo que finalmente el voltaje es de 2.48 v aproximadamente. El valor real obtenido fue de 2.56 V.

*Tabla No. 7: Voltaje utilizados y resistencias en acondicionador de voltaje.*

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>
<b>Voltaje RMS indicado</b>	10.8 voltios
<b>Voltaje RMS real sin carga</b>	11.8 voltios
<b>Voltaje pico</b>	16.69 voltios
<b>Resistencia 3 – R3</b>	470k ohms
<b>Resistencia 4 – R4</b>	470k ohms
<b>Voltaje divisor V2</b>	2.5 voltios
<b>Resistencia 1 – R1</b>	20 k
<b>Resistencia 2 – R2</b>	114.4 k
<b>Voltaje divisor V3</b>	2.48 voltios

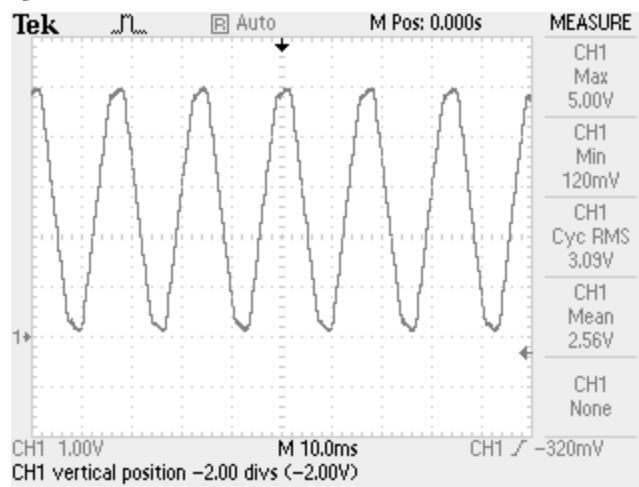
Se tuvo el problema que al conectar la señal de voltaje de V3 la misma se caía por lo que se decidió colocar un amplificador operacional en configuración de seguidor para desacoplar las etapas. El circuito final es como el de la siguiente Figura. No.36.

Figura No. 36: Circuito final acondicionador de voltaje.



Con esto se obtuvo la siguiente señal que entra al microcontrolador.

Figura No. 37: Señal acondicionadora entrada al microcontrolador.



2. Acondicionamiento sensor de corriente. En un sensor de corriente o bien un transformador de corriente, en el devanado secundario se obtiene una corriente pequeña alterna. Este valor no se puede interpretar con el convertidor de análogo a digital del microcontrolador por lo que se debe de acondicionar la señal de tal manera que los valores de voltaje estén delimitados por los valores máximos y mínimos del microcontrolador que son 0v y 5v.

El sensor de corriente que se utilizó debe hacerse de una resistencia de carga para obtener un voltaje que el microcontrolador puede entender correctamente. Para esto se deben de tomar las siguientes consideraciones.

- ◆ Corriente RMS medida del sensor.
- ◆ Voltaje sumado a la señal de salida.
- ◆ Rango de voltaje de operación del convertidor análogo a digital (ADC).

Primeramente se debe de obtener el valor pico de corriente del primer devanado ya que el sensor obtiene la corriente RMS.

$$I_{mprimaria} = \sqrt{2} * I_{rms} \quad \text{Ec.4.10}$$

$$I_{mprimaria} = \sqrt{2} * 100A = 141.4A \quad \text{Ec.4.11}$$

Luego se debe obtener el valor pico del devanado secundario. De acuerdo al número de vueltas.

$$I_{msecundaria} = \frac{I_{mprimaria}}{Rel.Vueltas} \quad \text{Ec.4.12}$$

$$I_{msecundaria} = \frac{141.4 A}{3000} = 0.04713 A \quad \text{Ec.4.13}$$

Por lo que usando la ley de ohm y despejando para la resistencia se tiene:

$$R = \frac{V[Volts]}{I[Ampers]} = [ohms] \quad \text{Ec.4.14}$$

Para esto se debe tomar en cuenta que la salida de voltaje de la resistencia sigue siendo un voltaje oscilante, con valores negativos y valores positivos, centrada en 0 Volts. Esto no es conveniente debido a que el microcontrolador no acepta voltajes negativos. Para esto se debe sumar un voltaje y tomar en cuenta que el valor de resistencia a calcular debe tomar un voltaje que no ocasione saturación. En este caso se escogieron los siguientes valores.

- ◆ Voltaje sumado = 2.5 V

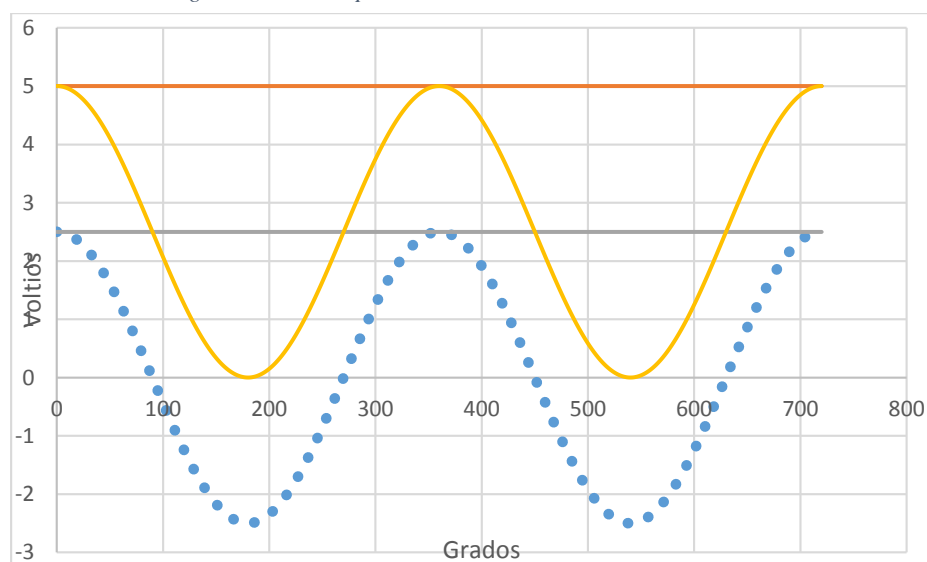
Con los valores establecidos se tiene:

$$Rb = \frac{2.5 \text{ volts}}{0.04713 \text{ Amp}} = 53.04 \text{ ohms} \quad \text{Ec.4.15}$$

Por los valores de resistencias se utilizó un valor final de 50 ohms.

Por lo que ahora la salida del sensor cuando se hayan alcanzado 100A de medición, el microcontrolador tendrá un valor de 5 volts en la entrada del convertidor análogo a digital. Por lo que para resumir se tiene la siguiente gráfica de la Figura No.38.

Figura No. 38: Desplazamiento de señal de sensor de corriente.



La línea punteada es la señal que se obtendría solo aplicando la resistencia en paralelo al sensor de corriente. A esta se le debe de sumar 2.5 Voltios de tal manera que no se obtengan voltajes negativos.

Para este acondicionamiento se realizó el siguiente circuito de la Figura No.39.

Figura No. 39: Circuito acondicionador para sensor de corriente.

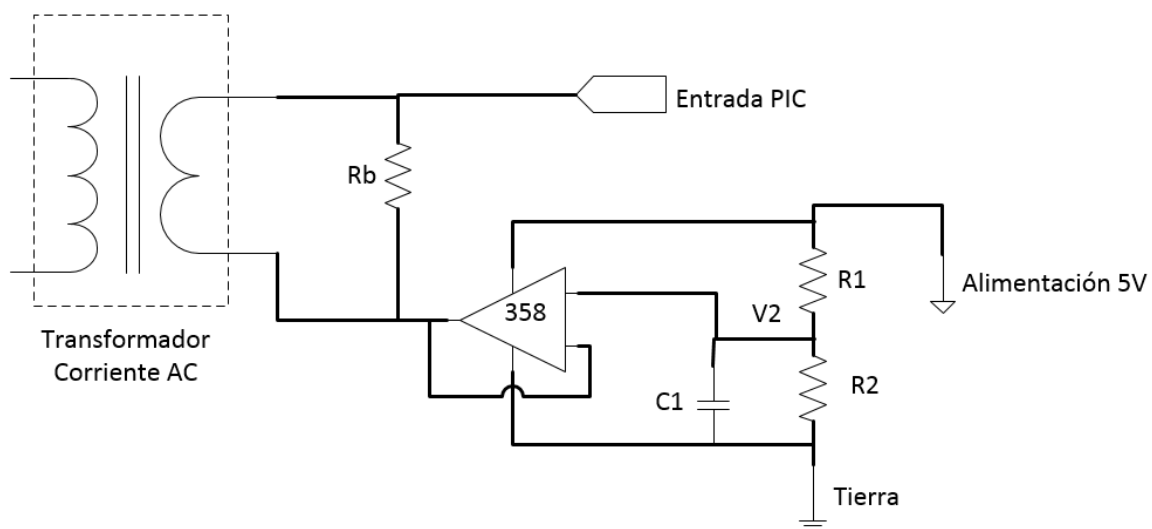
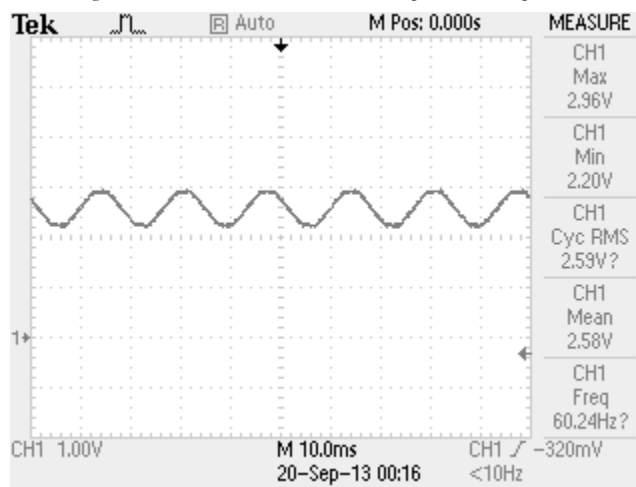


Tabla No. 8: Voltajes utilizados y resistencias en acondicionador de corriente.

Elemento	Valor
Corriente RMS indicado	100 amperios
Corriente pico	141.4 amperios
Rb Teórica	53.04 ohms
Rb real utilizada	50 ohms
Resistencia 1 – R1	10k ohms
Resistencia 2 – R2	10k ohms
Voltaje divisor V2	2.5 voltios

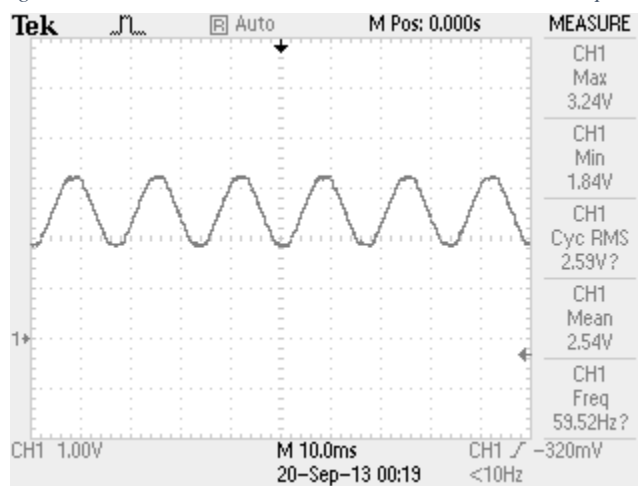
En las siguientes imágenes se observa una señal sinusoidal generada por el acondicionador cuando el circuito estaba ajustado a 20 amperios. Como se puede observar La onda está centrada en 2.56 V y el valor máximo es de 2.96 V. Por lo que aproximadamente da un valor de 20.93 amperios lo cual se encuentra un tanto desfasado. Con un porcentaje de error de 4.65%. Esto de acuerdo a la ecuación 4.18.

Figura No. 40: Acondicionamiento para 20 amperios.



Luego se midió para 35 amperios y el resultado fue de 36.76 amp que es equivalente al 3.24 volts que se observa desde la salida del acondicionador. Este tiene un porcentaje de error de 5.03%. Los datos de las diferentes pruebas se observan en las Tablas No.9 a 11.

Figura No. 41: Salida acondicionador de corriente con 35 amperios.



3. Resolución de ADC del microcontrolador. En el microcontrolador utilizado la conversión de análogo a digital tiene 10 bits de resolución. La resolución que tiene cada bit procedente de la conversión tiene un valor que es función de la tensión de referencia de  $V_{ref}$  de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Resolución = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n} \quad \text{Ec.4.16}$$

Donde  $n$  es el número de bits del convertidor de análogo a Digital. Con esto en cuenta se tiene el siguiente resultado.

$$Resolución = \frac{5-0}{1024} = 4.883 \text{ mV} \quad \text{Ec. 4.17}$$

Es de vital importancia que los voltajes de  $V_{ref}$  sean como se establecieron en las ecuaciones debido a que este puede ser un factor importante de error en los cálculos. Esto puede afectar la resolución del ADC que afectaría todos los valores de conversión. Ya que el valor de 4.883mV es bastante importante.

## F. Interpretación sensor de voltaje.

1. Resolución de sensor. Convirtiendo el valor RMS del voltaje de los hilos del tablero principal se tiene que el valor pico 169.7 Voltios y la salida es de 16.68 voltios por lo que la resolución es de:

- ♦ Resolución Sensor Voltaje = 1volt AC / 98.29mV AC

Es decir 1 voltio en la entrada equivale 98.29mV en la salida. Luego de aplicar el circuito acondicionador donde la señal es acondicionada a 5v del PIC se tiene la siguiente resolución:

- ♦ Resolución Sensor Voltaje en PIC = 1 V AC / 14.73 mV Dc

Es decir que por cada voltio de AC que tenga el hilo del tablero principal el PIC verá una señal de 14.73mV. Aplicando el valor de la resolución del sensor se encontró la ecuación para poder interpretar el valor que se está midiendo desde el microcontrolador.

$$Voltaje_{medido} = \frac{Valor\ voltaje\ ADC\ (Res.ADC) - V_{cc}/2}{Res\ Sensor} \quad Ec.4.18$$

$$Voltaje_{medido} = \frac{Valor\ voltaje\ ADC\ (4.883mV) - 2.5}{14.73\ mV} \quad Ec.4.19$$

Como un ejemplo si se tiene un valor de ADC de 724 entonces el voltaje que se está midiendo es de:

$$Voltaje_{medido} = \frac{724(4.883mV) - 2.5}{14.73\ mV} = 70.28\ voltios \quad Ec.4.20$$

Es importante mencionar que en esta ecuación todos los valores de ADC por debajo de 511 son negativos, esto porque la ecuación 4.18 traslada la onda sinusoidal a un “cero de software”. Como por ejemplo si tenemos un número cercano a 511 el valor será cercano a cero y negativo. Por ejemplo 507.

$$Voltaje_{medido} = \frac{510(4.883mV) - 2.5}{14.73\ mV} = -0.6565\ voltios \quad Ec.4.21$$

Es importante mencionar que en estas ecuaciones el valor de 2.5 se está asumiendo que es de la mitad del voltaje de alimentación por lo que si estos cambian ligeramente se verá afectado el valor de conversión. Se debe tener especial cuidado con esto.

Con esto finalmente se puede definir la resolución del sensor en donde el valor mínimo que se puede medir de voltaje es de 338 mVoltios es decir que un bit de la conversión equivale a este valor.

- ♦ Valor más pequeño medido = 338 mVoltios.

## G. Interpretación sensor de corriente.

1. Resolución de sensor. La resolución del sensor de corriente al tener una entrada pico de 141.4 A/AC y tener una salida de 47.17mA/AC se puede interpretar de la siguiente manera:

- ♦ Resolución sensor de corriente = 1A AC / 0.3334 mA

Luego de aplicar el acondicionar se tiene una resolución vista desde el PIC donde la señal de salida debe ser 2.5 voltios. La resolución es la siguiente:

- ♦ Resolución sensor corriente en PIC = 1A AC / 17.68 mV DC

Aplicando el valor de la resolución del sensor se encontró la ecuación para poder interpretar el valor que se está midiendo desde el microcontrolador.

$$Corriente_{medida} = \frac{Valor\ voltaje\ ADC\ (Res.ADC) - V_{cc}/2}{Res\ Sensor} \quad Ec.4.22$$

$$Corriente_{medida} = \frac{Valor\ voltaje\ ADC\ (4.883mV) - 2.5}{17.68\ mV} \quad Ec. 4.23$$

Como un ejemplo si se tiene un valor de ADC de 700 entonces el voltaje que se está midiendo es de:

$$Corriente_{medida} = \frac{700\ (4.883mV) - 2.5}{17.68\ mV} = 49.95\ Amp \quad Ec.4.24$$

Es importante mencionar que en esta ecuación todos los valores de ADC por debajo de 511 son negativos esto porque la ecuación 5.17 traslada la onda sinusoidal a un “cero de software”. Como por ejemplo si tenemos un número cercano a 511 el valor será cercano a cero y negativo. Por ejemplo 507.

$$Corriente_{medida} = \frac{510\ (4.883mV) - 2.5}{17.68\ mV} = -0.0547\ Amp \quad Ec.4.25$$

De igual manera que el sensor de voltaje se debe tener en consideración el valor de 2.5 que es la mitad del voltaje de alimentación que es el de referencia. El valor de 17.68mv también depende que el voltaje sea 5 voltios exactos.

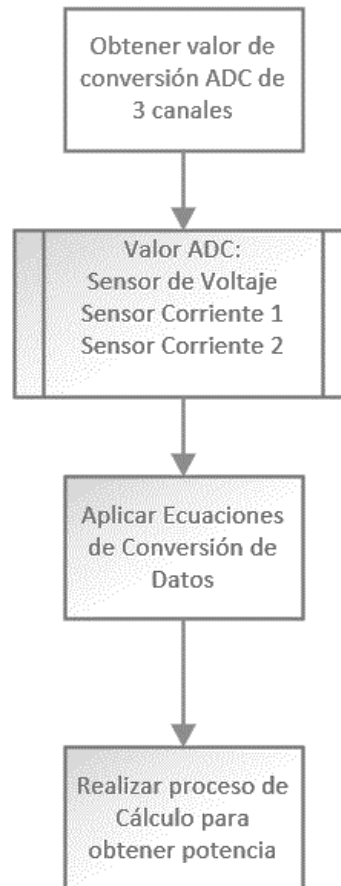
Por lo que con estos valores se puede determinar la resolución de la medición de los sensores de corriente en el que el valor más pequeño que se puede medir es de 281.6 mA es decir un bit de la conversión de análogo a digital equivale a este valor.

- ♦ Valor más pequeño es de 281.6 mA

## H. Implementación en software.

Para poder medir la potencia de cada una de las líneas con los valores medidos de corriente y voltaje se utilizó el siguiente proceso:

*Figura No. 42: Diagrama de flujo para cálculo de potencia.*



Para el programa de medición se siguieron los siguientes pasos:

1. Empezar a obtener los datos cuando la onda sinusoidal estuviera lo suficientemente cerca del cero. Esto para retirar el valor de desplazamiento que se le había agregado. Esto se hace mediante software que prácticamente es restarle la mitad de los valores del ADC que es 512.
2. Identificar los cruces por cero de las ondas sinusoidales de tal manera que se pueda identificar un periodo de las ondas sinusoidales.
3. Leer los valores de los convertidores de análogo a digital del sensor de voltaje, y los sensores de corriente.

4. Aplicar la ecuación de conversión para volverlo un valor real.
5. Calcular el valor cuadrático medio (RMS).
6. Calcular la potencia instantánea.
7. Calcular la potencia real.
8. Calcular la potencia aparente.
9. Calcular el factor de potencia.
10. Calcular la energía consumida.
11. Enviar los datos.

De estos pasos es importante mencionar los siguientes puntos:

1. **Cálculo de potencia real.** Se utilizó la ecuación discreta estudiada en el marco teórico de:

$$P_{real} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) * i(n) \quad \text{Ec.4.26}$$

Donde  $u(n)$  es una muestra de la instancia de  $u(t)$ ,  $i(n)$  es una muestra de la instancia de  $i(t)$  y  $N$  es el número de muestras. Estos valores se obtienen primero del ADC y luego se introducen en un método de conversión para obtener una onda sinusoidal con voltajes negativos centrada en cero virtualmente.

2. **Cálculo de valores cuadráticos medios.** Para calcular los valores cuadráticos medios más bien conocidos como RMS. Se implementó la siguiente ecuación en el software con multiplicaciones, sumatorias, divisiones, y raíces cuadradas.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} u^2(n)}{N}} \quad \text{Ec.4.27}$$

3. **Cálculo de potencia instantánea.** Para este se multiplicó el valor obtenido del ADC convertido del voltaje y de la corriente.

$$P_{ins} = u(n) * v(n) \quad \text{Ec.4.28}$$

Debido a que en el microcontrolador el voltaje y la corriente no se pueden medir exactamente al mismo tiempo esta potencia tiene un porcentaje de error que está en función del tiempo que le toma hacer al PIC la conversión de análogo a digital, de acuerdo al manual del fabricante se tiene los siguiente:

- ♦ Frecuencia de dispositivo = 20 MHz
- ♦ Reloj de ADC  $20\text{MHz}/32 = 625\text{kHz}$

- ♦ Tiempo en convertir 1 bit = 1.6  $\mu$ seg
- ♦ Tiempo en realizar una conversión de 10 bits = 11Tad = 17.60 $\mu$ seg.

En el programa primero se mide el valor de la corriente del sensor 1, luego se mide el valor del voltaje y por último el valor de la corriente del sensor 2. Por lo que los valores estarían desfasados entre sí 17.60micro-segundo. Para fines de este dispositivo no se quiere lograr una precisión alta por lo que este corrimiento se despreció. En el cálculo de potencia instantánea.

4. Cálculo de potencia aparente. En este caso para calcular la magnitud de la potencia compleja que es la potencia aparente, se utilizaron los valores cuadráticos medios del voltaje y de la corriente:

$$P_{apar} = V_{rms} * I_{rms} \quad \text{Ec.4.29}$$

Los datos de las pruebas realizadas para la potencia aparente se encuentran en la Tabla No.14.

5. Cálculo de factor de potencia. Para el cálculo del Factor de Potencia se utilizó la potencia real y la potencia aparente como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$fp = \frac{P_{real}}{P_{apar}} \quad \text{Ec.4.30}$$

Se debe de mencionar que estos valores se obtienen para cada uno de los hilos que se está midiendo en el tablero principal. Cada uno de estos valores se transmite a través del módulo Xbee. Los datos de las pruebas realizadas para el factor de potencia se encuentran en la Tabla No.15.

6. Cálculo de energía. La onda sinusoidal del voltaje y la corriente tiene una frecuencia de 60 Hz por lo que:

- ♦ Periodo es igual a  $T = 1/60 \text{ Hz} = 16.67\text{mS}$ .

Luego se tiene que la potencia media que se está midiendo se realiza en 166.7 ms. Por lo que se están midiendo 10 periodos de la onda. Para obtener la medición de potencia en un segundo se deben de tomar 6 mediciones de las anteriores y sumarlas.

Con esto se obtienen los wattssegundos. Estos se envían al otro dispositivo de almacenamiento y de despliegue cada segundo para que este los vaya acumulando y sumando hasta tener 60 valores que es el valor de la energía en wattsMinuto esto se convierten a wattsHora y son los datos que se almacenan en la memoria cada minuto para el historial.

## I. Configuración de módulos Xbee.

Se utilizaron dos módulos Transceptores Digi International Xbee de la familia S2. Estos utilizan un protocolo de comunicación ZigBee descrito en el marco teórico. Para este uno de ellos es un coordinador y el otro es un router. Para la configuración de estos se utilizó el software proporcionado por el fabricante, el programa se llama X-CTU.

*Tabla No. 9: Configuración principal de coordinador.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Función - modem</b>	Coordinador XB24-ZB
<b>Identificación red (PAN ID)</b>	3A7
<b>Dirección de destinatario alta (DH)</b>	13A200
<b>Dirección de destinatario baja (DL)</b>	4079CEA0
<b>Baud rate</b>	9600
<b>Versión firmware</b>	20A7

*Tabla No. 10: Configuración principal de router.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
<b>Función - modem</b>	Zigbee Router XB24-ZB
<b>Identificación red (PAN ID)</b>	3A7
<b>Dirección de destinatario alta (DH)</b>	13A200
<b>Dirección de destinatario baja (DL)</b>	4079CE99
<b>Baud rate</b>	9600
<b>Versión firmware</b>	22A7

Esto se puede observar en las siguientes imágenes:

Figura No. 43: Configuración coordinador.

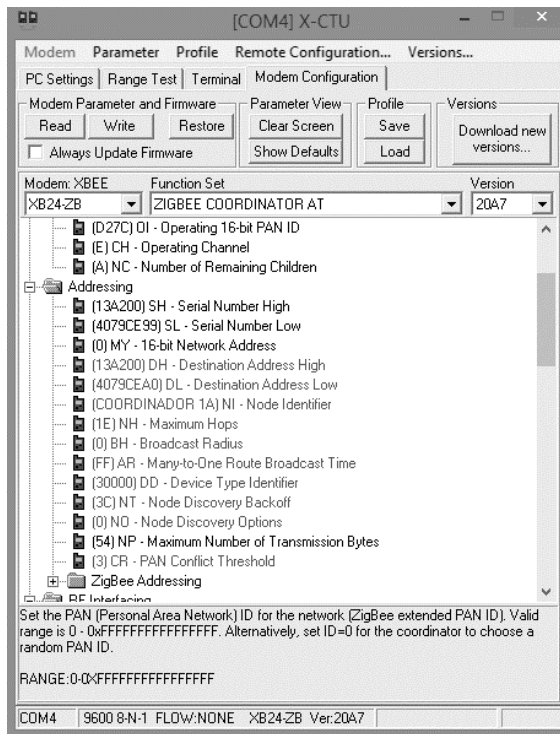
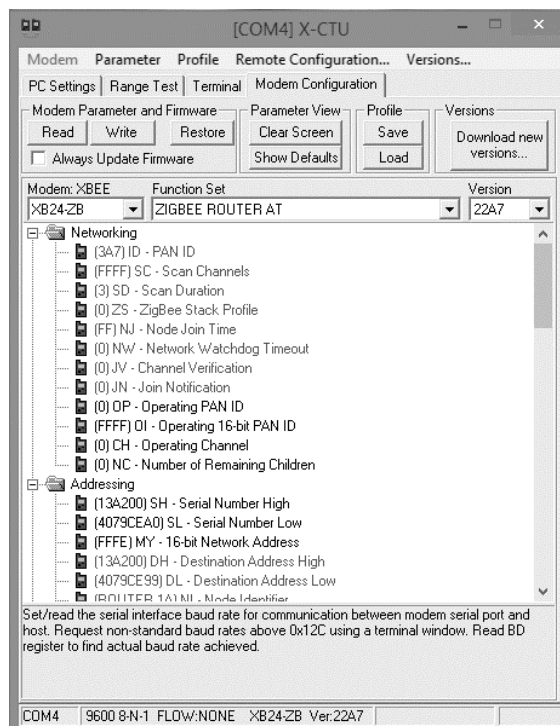
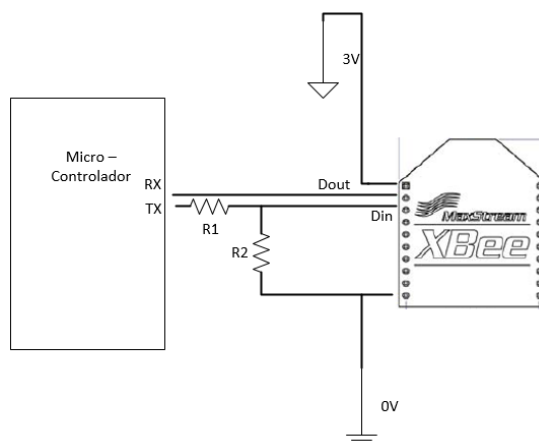


Figura No. 44: Configuración principal de router.



1. **Conexión de XBee a microcontrolador.** Estos módulos se conectaron con el microcontrolador por medio del protocolo serial asíncrono USART. Usando este protocolo se envían y reciben datos por medio de dos pines en el microcontrolador. Para este módulo se realizó el circuito de la siguiente Figura No.45. El TX envía los al pin Din del XBee y el RX recibe los datos a través del Pin de Dout del XBee.

*Figura No. 45: Conexión microcontrolador y XBee.*



Es importante mencionar que el microcontrolador trabaja con 5V y el Xbee con 3.3V por lo que se debe de colocar un divisor de voltaje para que el pin de transmisión del PIC que tiene una salida de 5 voltios tenga una entrada de 3.3V para el Xbe. Para el diseño R1 40K ohms y R2 es 10k ohms.

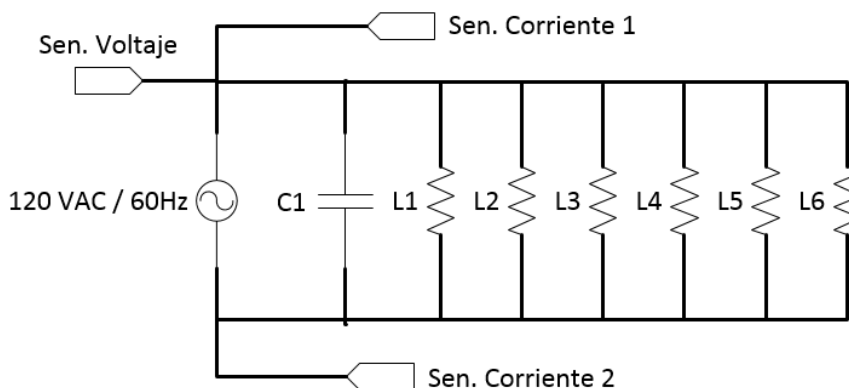
Para el este primer Dispositivo se utilizó un microcontrolador PIC18F25K22 para obtener las señales del ADC y para mandar los datos de USART. Este microcontrolador se escogió principalmente por su capacidad de memoria RAM de 1,536 bytes y ROM 64Kbytes. Por el convertidor de Análogo a Digital de 10bits, con diferentes entradas. Entre otras características tiene el módulo USART y dos SPI que son protocolos de comunicación serial.

## J. Pruebas de valores y despliegue de sensores y XBee.

Para probar el valor de las mediciones y los algoritmos de programación se procedió a realizar un circuito de prueba. Este consiste en tener una cantidad de bombillas para medir la corriente y el voltaje.

Se colocaron 6 bombillas de 100W en paralelo con un voltaje de alimentación de 120 VAC / 60 Hz. Esto como se ve en el siguiente diagrama de la Figura No.46.

Figura No. 46: Circuito de prueba.



Con esto seis bombillas se tienen una potencia de 600W y a un voltaje teórico de 120V. Con esto la corriente es la siguiente:

$$Corriente = \frac{Potencia}{Voltaje} = \frac{600 \text{ Watts}}{120 \text{ Volts}} = 5.0 \text{ Amperios} \quad \text{Ec.4.31}$$

En las terminales de la fuente el cable que se incorporó fue de una longitud aproximada de 2 metros, con el fin de que al colocar el sensor a este se le pudiera dar varias vueltas y de esta manera se “multiplicaría la corriente a medir”. Para este se realizó la siguiente Tabla No.10 Para estos valores cabe mencionar que estos se pueden ver afectados por la resistencia de las lámparas que afectan el verdadero consumo de potencia del sistema y el también el voltaje de alimentación.

Para los valores teóricos se supuso un voltaje en la línea de alimentación de 120V/AC y el valor de las bombillas de 100W. De acuerdo al circuito de prueba, si se tiene una sola bombilla en el sistema sería  $100 \text{ Watts}/120\text{VAC} = 0.833 \text{ amp}$ . Esta prueba se hizo hasta 4.1665 amperios. Luego se colocaron 6 bombillas de 100W dividido 120VAC se obtuvieron 5 amperios.

Tabla No. 11: Medición sensor de corriente 1.

<b>Corriente teórica [Amp]</b>	<b>Corriente amperímetro 1 [Amp]</b>	<b>Corriente sensor 1 [Amp]</b>	<b>% error sensor 1 respecto valor teórico</b>	<b>% error sensor 1 respecto amperímetro 1</b>
<b>0.8333</b>	0.75	0.849	1.88	13.20
<b>1.667</b>	1.4	1.562	6.30	11.57
<b>2.499</b>	2.2	2.339	6.40	6.32
<b>3.3332</b>	3.1	3.193	4.21	3.00
<b>4.1665</b>	4.1	4.025	3.40	1.83
<b>5</b>	4.8	4.795	4.10	0.10
<b>10</b>	9.7	9.634	3.66	0.68
<b>15</b>	14.8	14.559	2.94	1.63
<b>20</b>	19.9	19.662	1.69	1.20
<b>25</b>	25.2	24.637	1.45	2.23
<b>30</b>	29.9	29.967	0.11	0.22
<b>35</b>	35	35.12	0.34	0.34
<b>40</b>	40.4	40.934	2.33	1.32
<b>45</b>	45.1	45.785	1.74	1.52
<b>50</b>	50	50.891	1.78	1.78
<b>55</b>	55.3	55.78	1.42	0.87
<b>60</b>	59.9	60.897	1.50	1.66
<b>65</b>	65.1	64.963	0.06	0.21
<b>70</b>	70.2	70.478	0.68	0.40
<b>75</b>	74.9	75.842	1.12	1.26
<b>80</b>	80.1	80.214	0.27	0.14
<b>85</b>	84.2	85.746	0.88	1.84
<b>90</b>	89.3	89.456	0.60	0.17
<b>95</b>	95.8	95.781	0.82	0.02
<b>100</b>	101.1	101.231	1.23	0.13

Tabla No. 12: Medición de sensor de corriente 2.

<b>Corriente teórica [Amp]</b>	<b>Corriente amperímetro 2 [Amp]</b>	<b>Corriente sensor 2 [Amp]</b>	<b>% error sensor 2 respecto valor teórico</b>	<b>% error sensor 2 respecto amperímetro 2</b>
<b>0.8333</b>	0.75	0.893	7.16	19.07
<b>1.667</b>	1.45	1.611	3.36	11.10
<b>2.499</b>	2.4	2.424	3.00	1.00
<b>3.3332</b>	3.1	3.163	5.11	2.03
<b>4.1665</b>	4.05	4.039	3.06	0.27
<b>5</b>	4.8	4.889	2.22	1.85
<b>10</b>	9.8	9.863	1.37	0.64
<b>15</b>	15	15.033	0.22	0.22
<b>20</b>	20.1	20.338	1.69	1.18
<b>25</b>	25.1	25.532	2.13	1.72
<b>30</b>	30	30.69	2.30	2.30
<b>35</b>	35.1	35.658	1.88	1.59
<b>40</b>	40.9	41.0125	2.53	0.28
<b>45</b>	45.5	46.133	2.52	1.39
<b>50</b>	50.6	51.322	2.64	1.43
<b>55</b>	56.1	56.15	2.09	0.09
<b>60</b>	60.2	61.561	2.60	2.26
<b>65</b>	65.5	65.551	0.85	0.08
<b>70</b>	70.7	71.0558	1.51	0.50
<b>75</b>	75.7	76.312	1.75	0.81
<b>80</b>	80.7	81.427	1.78	0.90
<b>85</b>	84.7	86.449	1.70	2.06
<b>90</b>	89.9	90.158	0.18	0.29
<b>95</b>	96.3	96.984	2.09	0.71
<b>100</b>	102.1	102.45	2.45	0.34

A Continuación se presenta una gráfica con la corriente y los porcentajes de error de los sensores de corriente. Como se puede observar en los valores de corriente se tiene un mayor porcentaje de error alto y a partir de 10 amperios el porcentaje de error disminuye.

Figura No. 47: Error de sensor de corriente.

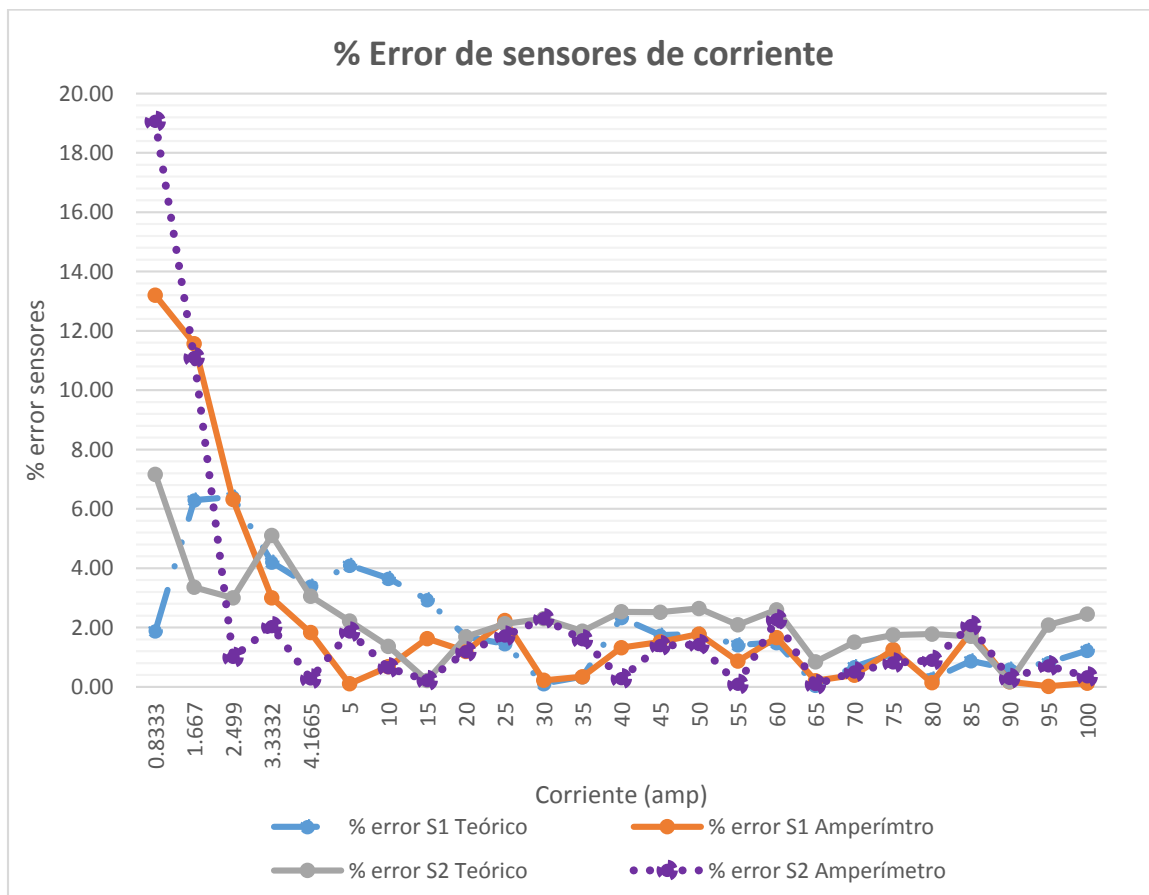
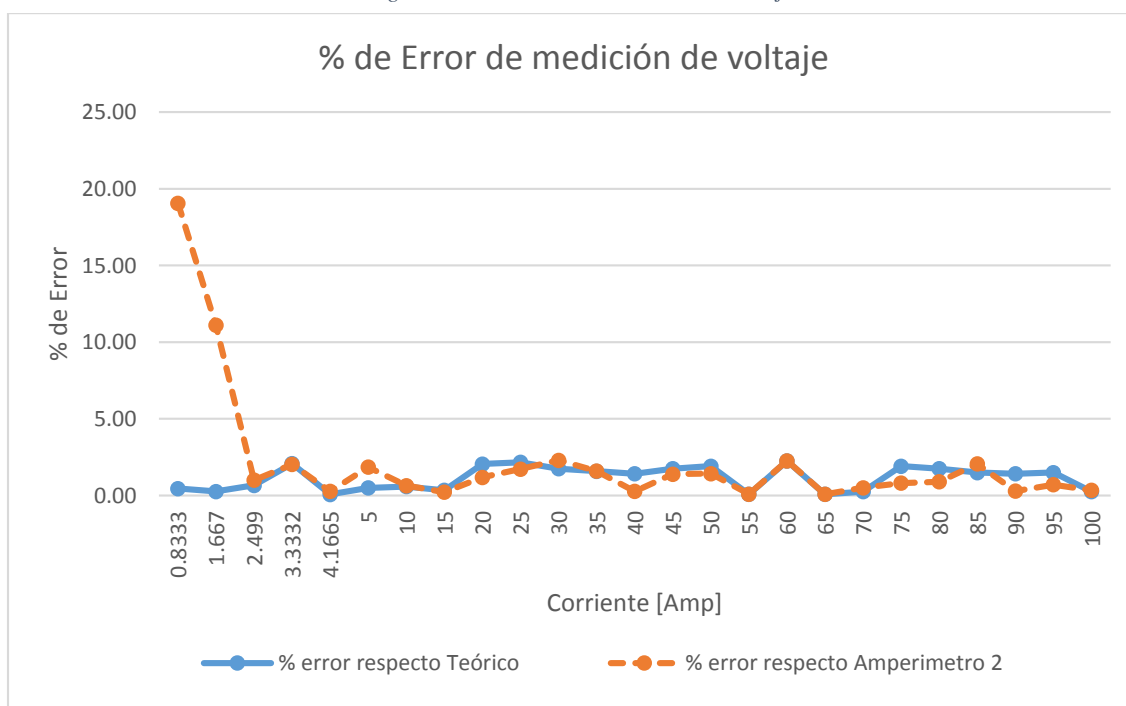


Tabla No. 13: Medición Sensor - Transformador de voltaje.

<b>Corriente teórica [Amp]</b>	<b>Voltaje teórico [V]</b>	<b>Voltaje voltímetro [V]</b>	<b>Voltaje sensor [V]</b>	<b>% error Sensor – transformador voltaje respecto teórico</b>	<b>% error sensor - transformador voltaje respecto voltímetro</b>
<b>0.8333</b>	120	119.4	119.46	0.45	0.05
<b>1.667</b>	120	119.1	119.68	0.27	0.49
<b>2.499</b>	120	120.1	120.8	0.67	0.58
<b>3.3332</b>	120	121.6	122.5	2.08	0.74
<b>4.1665</b>	120	119.8	120.09	0.08	0.24
<b>5</b>	120	118.7	120.6	0.50	1.60
<b>10</b>	120	120	120.7	0.58	0.58
<b>15</b>	120	119.8	120.41	0.34	0.51
<b>20</b>	120	121.2	122.47	2.06	1.05
<b>25</b>	120	121.5	122.6	2.17	0.91
<b>30</b>	120	121.5	122.1	1.75	0.49
<b>35</b>	120	121.3	121.9	1.58	0.49
<b>40</b>	120	121.2	121.7	1.42	0.41
<b>45</b>	120	121.4	122.1	1.75	0.58
<b>50</b>	120	121.4	122.3	1.92	0.74
<b>55</b>	120	118.2	120.1	0.08	1.61
<b>60</b>	120	121.6	122.7	2.25	0.90
<b>65</b>	120	118.4	120.1	0.08	1.44
<b>70</b>	120	118	119.7	0.25	1.44
<b>75</b>	120	121.1	122.3	1.92	0.99
<b>80</b>	120	120.7	122.1	1.75	1.16
<b>85</b>	120	120.5	121.8	1.50	1.08
<b>90</b>	120	120.5	121.7	1.42	1.00
<b>95</b>	120	120.4	121.8	1.50	1.16
<b>100</b>	120	120.1	119.7	0.25	0.33

Figura No. 48: Error de medición de voltaje.



Como se puede observar en la Gráfica anterior esta contiene el mayor porcentaje de error en los valores de corriente bajos.

Tabla No. 14: Mediciones potencia aparente.

<b>Potencia aparente [W]</b>	<b>Potencia aparente 1 [W]</b>	<b>Potencia aparente 2 [W]</b>	<b>% error sensor de corriente 1 potencia aparente 1</b>	<b>% error sensor de corriente 2 potencia aparente 2</b>
<b>99.996</b>	101.42154	106.67778	1.43	6.68
<b>200.04</b>	186.94016	192.80448	6.55	3.62
<b>299.88</b>	282.5512	292.8192	5.78	2.35
<b>399.984</b>	391.1425	387.4675	2.21	3.13
<b>499.98</b>	483.36225	485.04351	3.32	2.99
<b>600</b>	578.277	589.6134	3.62	1.73
<b>1200</b>	1162.8238	1190.4641	3.10	0.79
<b>1800</b>	1753.04919	1810.12353	2.61	0.56
<b>2400</b>	2408.00514	2490.79486	0.33	3.78
<b>3000</b>	3020.4962	3130.2232	0.68	4.34
<b>3600</b>	3658.9707	3747.249	1.64	4.09
<b>4200</b>	4281.128	4346.7102	1.93	3.49
<b>4800</b>	4981.6678	4991.22125	3.78	3.98
<b>5400</b>	5590.3485	5632.8393	3.52	4.31
<b>6000</b>	6223.9693	6276.6806	3.73	4.61
<b>6600</b>	6699.178	6743.615	1.50	2.18
<b>7200</b>	7472.0619	7553.5347	3.78	4.91
<b>7800</b>	7802.0563	7872.6751	0.03	0.93
<b>8400</b>	8436.2166	8505.37926	0.43	1.25
<b>9000</b>	9275.4766	9332.9576	3.06	3.70
<b>9600</b>	9794.1294	9942.2367	2.02	3.56
<b>10200</b>	10443.8628	10529.4882	2.39	3.23
<b>10800</b>	10886.7952	10972.2286	0.80	1.59
<b>11400</b>	11666.1258	11812.6512	2.33	3.62
<b>12000</b>	12117.3507	12263.265	0.98	2.19

De acuerdo a las mediciones observadas se puede determinar que cuando el establecimiento doméstico está consumiendo menos corriente es cuando más error se tiene.

Tabla No. 15: Mediciones de factor de potencia resistivo.

Corriente teórica [Amp]	Factor de potencia Teórica	Factor de potencia sensor corriente 1	Factor de potencia sensor corriente 2	% error sensor corriente 1	% error sensor corriente 2
<b>0.8333</b>	1	0.993	0.992	0.70	0.80
<b>1.667</b>	1	0.997	0.997	0.30	0.30
<b>2.499</b>	1	0.994	0.997	0.60	0.30
<b>3.3332</b>	1	0.998	0.999	0.20	0.10
<b>4.1665</b>	1	0.997	0.899	0.30	10.10
<b>5</b>	1	0.997	0.982	0.30	1.80
<b>10</b>	1	0.992	0.980	0.80	2.00
<b>15</b>	1	1.002	0.921	0.20	7.90
<b>20</b>	1	0.997	0.987	0.30	1.30
<b>25</b>	1	0.992	0.951	0.80	4.90
<b>30</b>	1	0.987	0.963	1.30	3.70
<b>35</b>	1	0.99	0.912	1.00	8.80
<b>40</b>	1	0.9	0.987	10.00	1.30
<b>45</b>	1	0.897	0.897	10.30	10.30
<b>50</b>	1	0.921	0.912	7.90	8.80
<b>55</b>	1	0.954	0.978	4.60	2.20
<b>60</b>	1	0.912	0.953	8.80	4.70
<b>65</b>	1	0.941	0.912	5.90	8.80
<b>70</b>	1	0.995	0.945	0.50	5.50
<b>75</b>	1	0.912	0.958	8.80	4.20
<b>80</b>	1	0.978	0.874	2.20	12.60
<b>85</b>	1	0.968	0.945	3.20	5.50
<b>90</b>	1	0.954	0.987	4.60	1.30
<b>95</b>	1	0.899	0.899	10.10	10.10
<b>100</b>	1	0.901	0.925	9.90	7.50

Luego para probar los valores del factor de potencia. Se realizaron las pruebas con una bombilla de 50W para poder tener un mayor rango de prueba de los valores de la capacitancia. Esto debido a que en un aumento de la resistencia del sistema se requiere que el valor de los capacitores varía en mayor número.

Tabla No. 16: Valores de factor de potencia con bombilla de 50W y capacitor.

Capacitor [μF]	fp Teórico	fp Práctico S1	fp Práctico S2	% Error 1	% Error 2
1	0.9931	0.649	0.645	34.65	35.05
1.5	0.9847	0.66	0.696	32.97	29.32
2	0.9733	0.637	0.601	34.55	38.25
2.5	0.9591	0.633	0.596	34.00	37.86
5	0.8612	0.591	0.573	31.37	33.46
7	0.7709	0.575	0.572	25.41	25.80
10	0.6465	0.518	0.501	19.88	22.51
12	0.5768	0.401	0.412	30.48	28.57
15	0.4918	0.38	0.369	22.73	24.97
17	0.4461	0.348	0.398	21.99	10.78
20	0.3901	0.315	0.313	19.25	19.76
22	0.3594	0.332	0.333	7.62	7.35
25	0.321	0.31	0.248	3.43	22.74
27	0.2994	0.27	0.246	9.82	17.84
27.5	0.2945	0.267	0.245	9.34	16.81

Luego se realizó esta prueba con 3 bombillas de 100 W conectados y se obtuvo un menor porcentaje de error en las mediciones.

Figura No. 49: Error de factor de potencia con corriente inferior a 2.5 Amp.

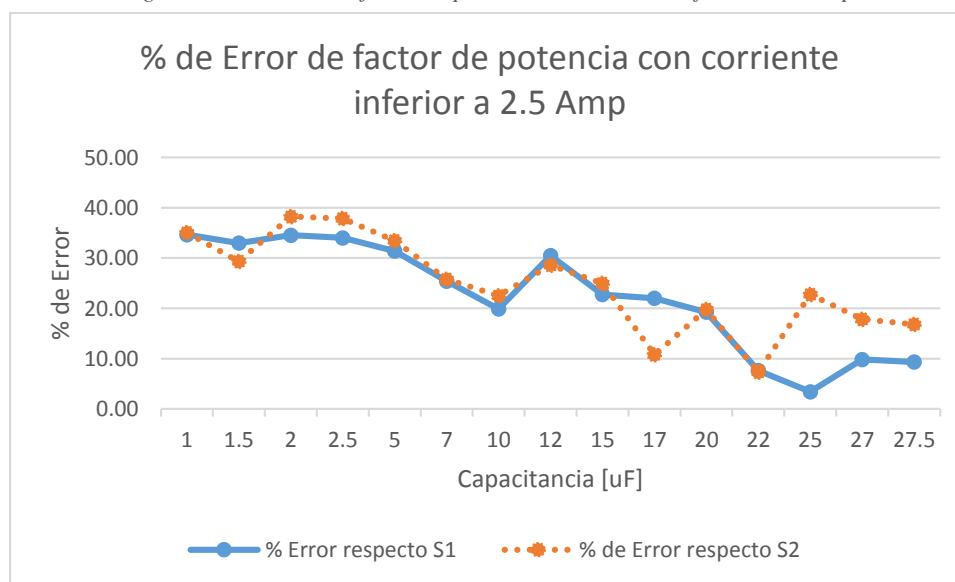
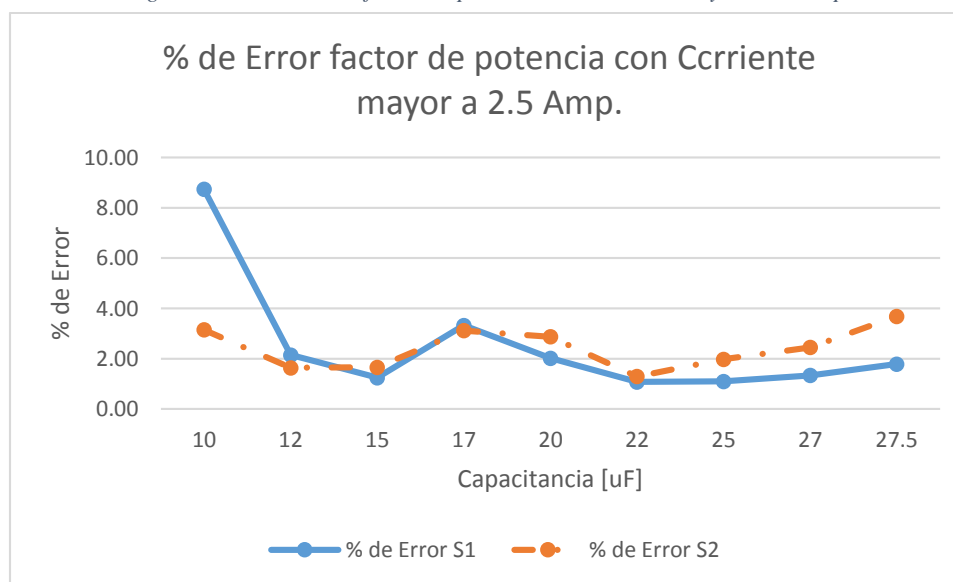


Tabla No. 17: Factor de potencia con 300W y capacitor.

Capacitor [μF]	fp Teórico	fp Práctico S1	fp Práctico S2	% Error 1	% Error 2
10	0.984	1.07	1.015	8.74	3.15
12	0.977	0.998	0.993	2.15	1.64
15	0.965	0.977	0.981	1.24	1.66
17	0.9591	0.991	0.989	3.33	3.12
20	0.94	0.959	0.967	2.02	2.87
22	0.929	0.939	0.941	1.08	1.29
25	0.911	0.921	0.929	1.10	1.98
27	0.898	0.91	0.92	1.34	2.45
27.5	0.895	0.911	0.928	1.79	3.69

Figura No. 50: Error de factor de potencia con corriente mayor a 2.5 Amp.



De acuerdo a la resolución de los sensores esto explica que en corrientes pequeñas el dispositivo tiene un mayor porcentaje de error debido a que está muy cerca del valor mínimo que este puede convertir. Este y otros factores como la identificación del cruce por cero son los que afecta la medición.

## K. Segundo dispositivo.

Como se estableció anteriormente las funciones de este dispositivo son la admisión de datos del medidor, el almacenamiento de datos y el despliegue de los mismos en una pantalla. Este es el que usuario emplea para poder observar los datos medidos.

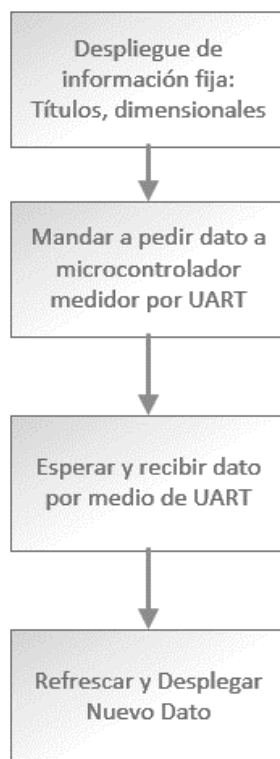
1. **Microcontrolador.** Para este se escogió un microcontrolador 18F45K22 de empaquetado de 40 pines. Se escogió este modelo por las siguientes principales características.

- ◆ 64 kbytes para memoria de programa principal.
- ◆ 1,536 bytes de RAM
- ◆ 2 UART y 2 SPI
- ◆ 256 bytes de EEPROM
- ◆ Frecuencia de trabajo de hasta 64MHz.

Por medio de UART se transmiten y reciben datos al Xbee, los puertos son utilizados para desplegar en la pantalla GLCD, el módulo SPI1 es utilizado para leer el tiempo del RTC (Reloj de tiempo real), el SPI2 se utiliza para almacenar los datos en una memoria.

2. **Formato de comunicación.** Para que los microcontroladores se entendieran y no se mezclaran los datos se implementó el siguiente diagrama de flujo para obtención y despliegue de datos:

*Figura No. 51: Recolección y despliegue de datos.*



El programa principal se encuentra desplegando los datos y esto lo hace pidiéndole los datos al microcontrolador medidor, por ejemplo el microcontrolador de despliegue le manda un código por USART

que quiere decir mandar el voltaje. Este lo lee y envía el valor en ese momento del voltaje. De esta manera se evita que los datos se interpreten de otra manera o que se mezclen.

Es importante mencionar que todos los cálculos con la medición del sensor se realizan con tipos de datos dobles que contienen decimales, luego estos datos se convierten a cadenas de texto para poder ser transmitidas. Luego el dispositivo de despliegue espera cadenas de texto y esto es lo que despliega.

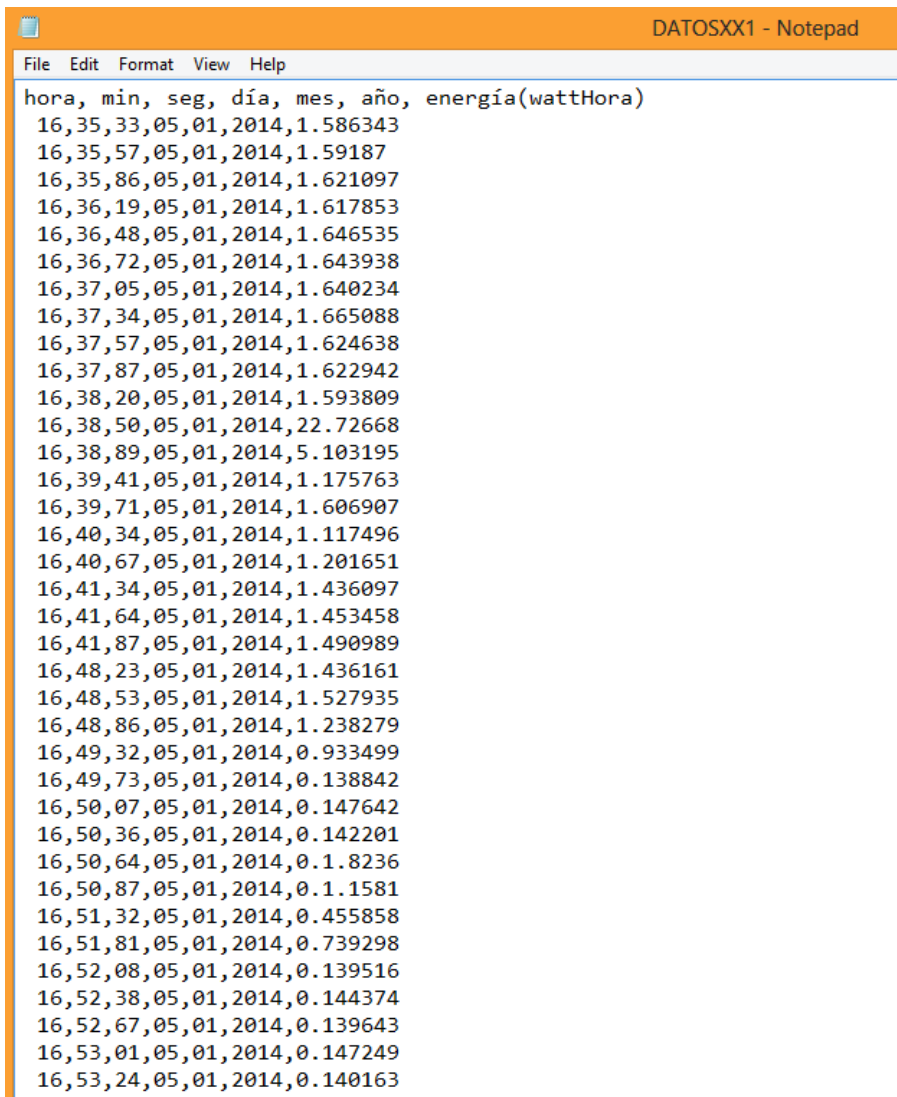
3. **Reloj en tiempo real.** Para el reloj de tiempo real se emplea el protocolo de comunicación I2C que es un protocolo de comunicación serial. El chip RTC se configura y se comunica por este medio para obtener los datos del tiempo. Para este se utilizan rutinas de comunicación en donde los datos se reciben en el siguiente orden:

1. Segundos
2. Minutos
3. Horas
4. Semanas
5. Días
6. Meses
7. Año

El RTC al leer el tiempo envía los datos en este orden por lo que se debe de tener especial cuidado en el momento de almacenar en las variables. Esto se hace porque en el método se utiliza un puntero que se va corriendo uno a uno.

Para el manejo del historial se guardaron los datos en un archivo de texto en el cual los datos son separados con coma para luego poderlos exportar a un documento Excel. Los datos que se almacenan son la hora, la fecha y el consumo de energía en wattsHora aproximadamente cada segundo a continuación se muestra los datos tomados por el sensor.

Figura No. 52: Datos obtenidos en archivo de texto.



```
File Edit Format View Help
hora, min, seg, día, mes, año, energía(wattHora)
16,35,33,05,01,2014,1.586343
16,35,57,05,01,2014,1.59187
16,35,86,05,01,2014,1.621097
16,36,19,05,01,2014,1.617853
16,36,48,05,01,2014,1.646535
16,36,72,05,01,2014,1.643938
16,37,05,05,01,2014,1.640234
16,37,34,05,01,2014,1.665088
16,37,57,05,01,2014,1.624638
16,37,87,05,01,2014,1.622942
16,38,20,05,01,2014,1.593809
16,38,50,05,01,2014,22.72668
16,38,89,05,01,2014,5.103195
16,39,41,05,01,2014,1.175763
16,39,71,05,01,2014,1.606907
16,40,34,05,01,2014,1.117496
16,40,67,05,01,2014,1.201651
16,41,34,05,01,2014,1.436097
16,41,64,05,01,2014,1.453458
16,41,87,05,01,2014,1.490989
16,48,23,05,01,2014,1.436161
16,48,53,05,01,2014,1.527935
16,48,86,05,01,2014,1.238279
16,49,32,05,01,2014,0.933499
16,49,73,05,01,2014,0.138842
16,50,07,05,01,2014,0.147642
16,50,36,05,01,2014,0.142201
16,50,64,05,01,2014,0.1.8236
16,50,87,05,01,2014,0.1.1581
16,51,32,05,01,2014,0.455858
16,51,81,05,01,2014,0.739298
16,52,08,05,01,2014,0.139516
16,52,38,05,01,2014,0.144374
16,52,67,05,01,2014,0.139643
16,53,01,05,01,2014,0.147249
16,53,24,05,01,2014,0.140163
```

A continuación se muestran las imágenes del despliegue de la pantalla, en ella se encuentra un menú principal y luego 6 sub pantallas de despliegue.

Figura No. 53: Menú principal.



Figura No. 54: Pantalla de energía total.



Figura No. 55: Pantalla de medición del sensor 1.

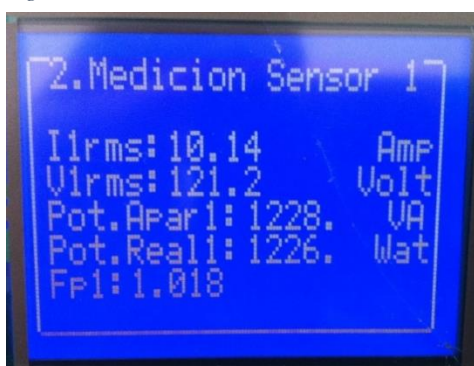


Figura No. 56: Pantalla de medición de sensor 2.

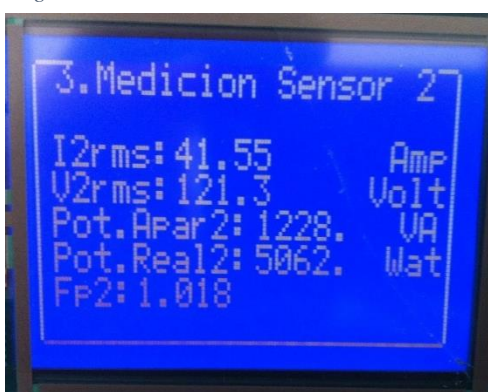


Figura No. 57: Pantalla de combinación de sensores.

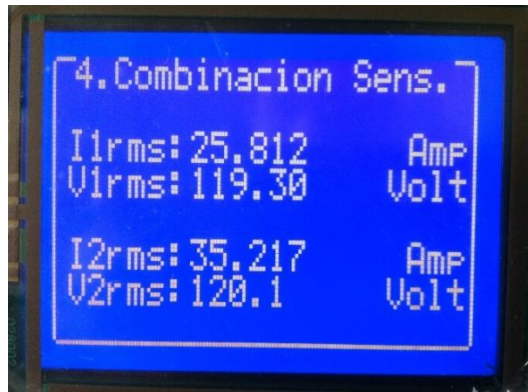


Figura No. 58: Pantalla de despliegue de historial.



Figura No. 59: Pantalla despliegue de ajuste de hora.



Figura No. 60: Dispositivo de medición.

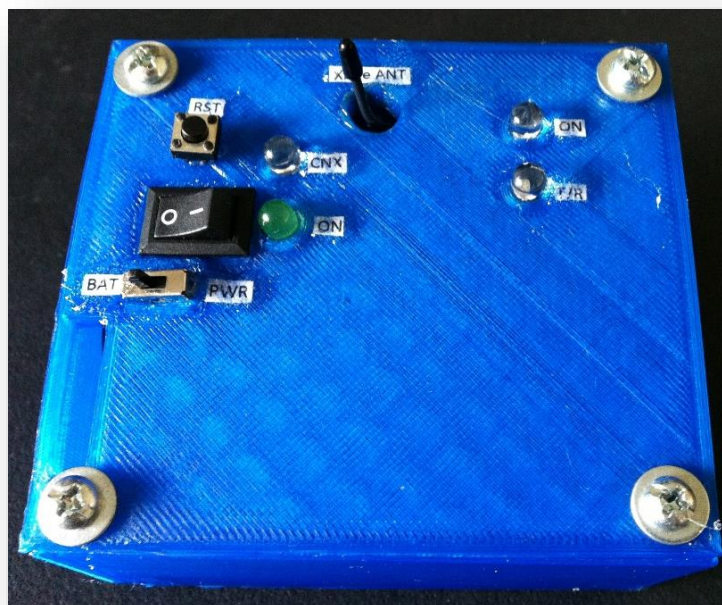


Figura No. 61: Dispositivo de medición con sensores.

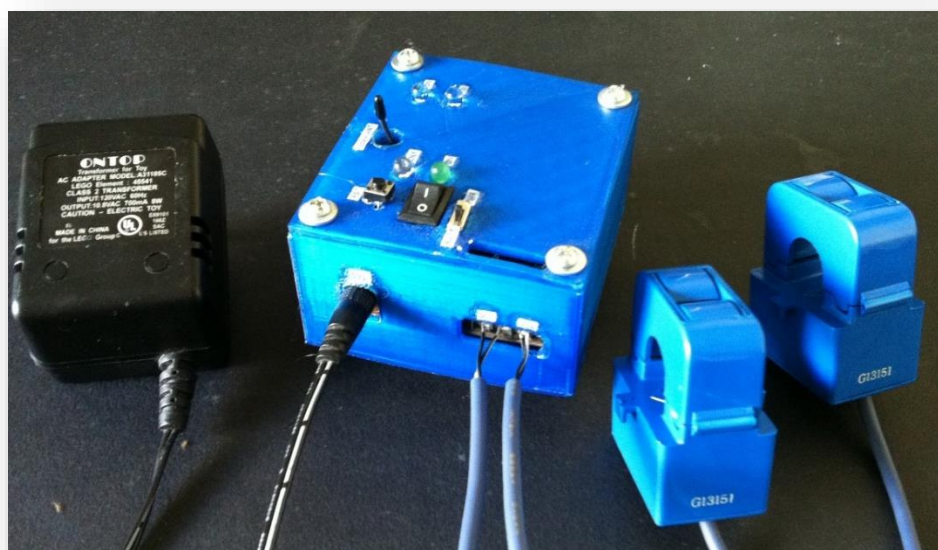


Figura No. 62: Dispositivo de despliegue.



## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Acometida eléctrica.

Al determinar las conexiones de las diferentes líneas del tablero principal de una casa doméstica se pudo determinar los siguientes puntos:

En el tablero principal se reciben dos líneas o hilos de 120VAC de 60Hz y un cable neutral. Al observar las tablas de mediciones de voltaje en el capítulo de metodología y resultados se determinó que las cargas de una edificación doméstica están distribuidas en los dos hilos. Es norma que los dos hilos se traten de balancear teniendo cargas similares. Esto tomando en cuenta los dispositivos que están conectados a los dos hilos que utilizan tensiones de 240 V/AC 60 Hz. El dispositivo a construir también es de gran ayuda ya que conociendo los valores de corriente de cada uno de los hilos puede ayudar a los electricistas a balancear correctamente la carga en los dos hilos. En el tablero principal se tiene el espacio suficiente para poder colocar los sensores de corriente en cada una de los hilos sin obstruir ningún cable o tapadera. Es importante al colocar los sensores en el tablero de una acometida se debe tener precaución para no provocar un corto circuito o un accidente que pueda provocar heridas, o incluso la muerte.

### B. Valores de medición.

En la prueba realizada, se obtuvo un consumo de 75.7 Amp RMS. Los dispositivos, que se tenían en ese momento funcionando fueron los de la Tabla No.4. De acuerdo a la tabla de consumo eléctrico promedio de aparatos típicos, se tuvo un valor teórico de 43.04 amp RMS. Esto se debió a que los elementos eléctricos utilizados en la medición no fueron todos los mismos que los de la Tabla No.1. Los elementos probablemente conectados en ese momento tenían una mayor potencia. Esto se reflejó en una mayor medida de corriente por medio del amperímetro.

Para las mediciones de voltaje es importante considerar que este únicamente está conectado a un hilo y a neutro. Esto debido a que el aparato se instalará en el tablero principal y el sensor a un tomacorriente cerca. Se pudiera agregar otro transformador pero esto implicaría un mayor esfuerzo en el sentido que el usuario tendría que buscar un tomacorriente que estuviera conectado al primer hilo y otro que estuviera conectado al segundo hilo. El esfuerzo agregado no representa una diferencia en las mediciones ya que el voltaje se mantiene constante.

Para escoger el sensor de corriente las tres principales características que se tomaron en cuenta fue que pudiese medir el rango establecido de 2.2 amp a 76amp. El espacio a ocupar y que este fuera no invasivo. Con las dimensiones del sensor de corriente se aseguró que el calibre de los hilos del tablero principal pudiesen ingresar y no se tuviese ningún tipo de interferencia. Esto es de gran importancia ya que si hay una separación del núcleo este ya no obtendrá los valores correctos.

Es importante mencionar que para el sensor de corriente se debe tener especial cuidado en el trato del mismo, ya que estos no tienen una carcasa protectora fuerte que pueda resistir impactos duros, por lo que se puede quebrar el núcleo. El sensor de voltaje es más robusto y este puede soportar golpes o caídas.

## C. Circuitos acondicionadores.

Los circuitos acondicionadores son una parte muy importante de este trabajo ya que sin ellas no se podría realizar una correcta medición por medio del microcontrolador. Este debe poder reconocer los valores que está midiendo por la conversión de análogo a digital. Es por esta razón que es de vital importancia conocer los valores de los diferentes elementos como lo son las resistencias y los voltajes de los divisores. Esto porque los datos para realizar la conversión utilizan los valores específicos. En el software se utilizan estos valores por lo que se deben de ajustar correctamente para tener una medición más precisa.

Un ejemplo de esto es el voltaje de alimentación debe de estar lo más cercano posible a 5 voltios ya que este afecta el valor de los divisores de voltaje y afecta el valor que se utiliza en las ecuaciones para transformar la señal que se está leyendo.

## D. Acondicionador de corriente.

Para este un dato que se ajustó fue el de la resistencia de carga ya que debido a las incertidumbres de las resistencias se obtenía una medición menor. Con este dato se ajustaron nuevamente los cálculos para ingresar estos valores en programa. Para los circuitos se colocaron seguidores de voltaje para desacoplarlos de la entrada del microcontrolador.

Debido a que se utilizan dos sensores de corriente se deben de ajustar los valores para cada uno. Por lo que en el programa del PIC se realizaron dos métodos iguales en lógica pero con diferentes valores de ajuste.

## E. Acondicionador de voltaje.

De igual manera que el anterior se ajustaron los valores de resistencia del divisor de voltaje para modificar la amplitud. Ajustando así los rangos del acondicionador para que las mediciones estuvieran dentro del rango de medición del microcontrolador. Se colocó un seguidor de voltaje para conectarlo al PIC. Ya que si se ingresaba directamente de los divisores de voltaje la señal se cae valores cercanos a 1V. Es importante mencionar que para los seguidores de voltaje que ingresan al PIC deben de ser alimentados con un voltaje mayor a 5 voltios, ya que si no se hace esto el amplificador operacional se satura y los voltajes cercanos a este valor no se obtienen correctamente. Los amplificadores operacionales que se utilizaron solo obtienen en la salida voltajes positivos. Para la interpretación de los valores es importante tomar en cuenta los valores del fabricante de voltaje RMS, número de vueltas de los devanados, y señales de salida para colocar correctamente las constantes de conversión en el programa.

## F. Implementación de software.

Finalmente para poder interpretar las señales correctamente se determinó que la resolución final del sensor de voltaje es de  $1VAC/14.73VDC$  es decir que en el programa que el bit menos significativo equivale a  $14.73VDC$  que en la medición real es  $1VAC$ . Esto proviene de la resolución misma del sensor, del acondicionamiento de la señal y del conversor análogo a digital. Luego para los sensores de corriente se tiene una resolución final de  $1AAC/17.68mVDC$ , es decir que cada del conversor análogo a digital equivale a  $17.68mVDC$  que la medida real es de 1 amperio en corriente alterna. Para realizar los respectivos cálculos de potencia se debe de considerar que primero se mide la corriente del sensor 1, luego se mide la del voltaje y por último se mide la corriente del sensor 2. Esto implica que estos valores están desfasados cierto tiempo que es función del tiempo de conversión del ADC esto se analizó en la sección de cálculos de potencia instantánea de Implementación de software marco práctico. Para este caso se tiene un desfase de 17.60 micro segundos entre cada una de las corrientes y el voltaje. Por lo que al multiplicar los valores de voltaje por los de corriente se tiene cierto error. Para fines del dispositivo en que no se quiere lograr una alta precisión se tomó la decisión no ajustarle ningún valor de corrección.

Los valores de los cálculos se trabajaron como tipos de dato doble los cuales manejan decimales y signos negativos. Luego estos datos se convirtieron en cadenas de texto para ser enviados a través de un protocolo UART. Este envía un carácter a la vez de forma serial. Luego esta cadena de texto es atrapada por el otro microcontrolador y este ya la despliega.

## G. Módulos XBee.

Estos módulos se configuraron de tal manera que uno de ellos fuese el coordinador y que el otro fuese el router. El primero está conectado al PIC del dispositivo de despliegue y el otro al PIC de medición. El dato de configuración más importante a considerar es la dirección de "destinatario bajo". El coordinador debe tener la dirección del router y viceversa. Esta dirección es el número de serie de cada uno de los módulos. Estos módulos tienen un alcance de 120m en línea vista y 40m usando en el interior de la casa.

Estos módulos permiten que para mejoras adicionales se puedan configurar como parte de una red. Donde uno de ellos se pueda comunicar con el router de internet de un lugar doméstico y pueda transmitir los datos y observarlos en una página de internet, o bien tener otro módulo conectado directamente a una computadora y desplegar la información.

## H. Pruebas realizadas.

Para las pruebas se construyó el circuito mostrado en la Figura No. 43. Para este circuito se tiene la observación que la potencia teórica de las bombillas varía dependiendo del voltaje de alimentación y la resistencia de cada una de ellas. Esto son los valores que más influyen en la medición. Esto se pudo observar en los datos obtenidos con el amperímetro de gancho. Es importante mencionar que el voltaje que ingresa de

la distribución eléctrica varía dependiendo de la carga del área. Entre mayor carga haya el voltaje disminuye. Este puede llegar a disminuir hasta un valor de 118 voltios.

Esto también afectó las mediciones del sensor. Como se puede observar en las tablas de medición de las corrientes bajas se tiene un alto porcentaje de error, y luego este va disminuyendo el menor porcentaje de error es de 0.2% en la medición de 20 amperios. Para el sensor de voltaje los porcentajes de error se mantienen más estables. Con un valor máximo de 0.4833 % y un mínimo de 0.0018%. No se realizaron pruebas con diferentes niveles de voltaje porque generalmente este trabaja entre un rango de 118 voltios a 121 voltios.

La persona le interesa concluir si gastó más energía de un tiempo a otro tiempo relativo al dispositivo. Como por ejemplo si hoy consumió 500 kWh y mañana consume 700 kWh, habrá consumido 200 kWh más medidos respecto del sensor. Por lo que no importa si el valor exacto era 507 kWh y en el otro día 707 kWh este tendrá la misma diferencia consumida de más y podrá hacer la misma comparación.

Con el factor de potencia se puede observar en las Tablas No.16 y 17 que cuando en el sistema se está midiendo una pequeña cantidad de corriente y hay una baja resistencia del sistema el porcentaje de error es bastante elevado. El mayor fue de 38.25% y el menor fue de 7.32%. Esto se debe a que por la forma en que se está localizando el cruce por cero de las ondas varían y no siempre es localizable en el mismo punto. Luego a medida que se aumente la resistencia y la carga que demanda el sistema se puede observar que la medición del factor de potencia mejora teniendo así un porcentaje de error de 8.74% el más alto y de 1.08% el menor. La prueba que se realizó del factor de potencia con poco amperaje también tiene un gran porcentaje de error debido a que se sale del rango establecido del dispositivo debido a los valores mínimos que pueden medir los sensores de corriente.

Con el segundo dispositivo de despliegue se tuvo problema con el espacio de RAM utilizado en el PIC para desplegar el texto. Esto se solucionó implementando un método para almacenar temporalmente los datos tipo cadena en la memoria de programa. Este problema se debió más que todo al compilador utilizado, el cual tiene problema con el direccionamiento de bancos para la familia de microcontroladores 16F. Con el reloj de tiempo real se tuvo problema con el refrescamiento del mismo en la pantalla GLCD.

El dispositivo tiene la capacidad de conectar más elementos y mejorar la precisión de la medición si se requiere. Al microcontrolador se le pudiera agregar otro sensor de corriente, para medir sistemas industriales pequeños en donde se tuviese una conexión trifásica. En los valores de voltaje y corriente se puede tener una mejor precisión cambiando las resistencias con una menor tolerancia y ajustando los valores de voltaje. También aplicando el factor de corrección de corrimiento debido a la medición de un sensor después del otro mejoraría la precisión.

Para el dispositivo de despliegue se le podría incluir una pantalla GLCD más grande para observar los datos de una mejor manera. Tener una alta capacidad de almacenamiento y los datos obtenidos pudiesen extraerse del dispositivo e utilizarlos en la computadora.

## VIII. CONCLUSIONES

- ♦ El rango de operación logrado por el dispositivo fue de 2.5 amperios a 100 amperios en corriente alterna y del sensor de voltaje fue de 117 a 122 voltios logrando en estos rangos un porcentaje de error menor al 5%.
- ♦ Se consiguió construir un dispositivo físico en el cuál no se requiere realizar ningún tipo de conexión invasiva a la línea energética e introducirse al tablero principal con suficiente espacio físico.
- ♦ Se logró diseñar un acondicionador de señal específico para cada sensor, y poder tener valores de señal que pudiesen ser interpretados por el microcontrolador.
- ♦ Se alcanzó que el porcentaje de error de los divisores de voltaje fuese de 1.6% de acuerdo a las mediciones realizadas en un rango de 117 a 122 voltios.
- ♦ La resolución final para el sensor-transformador de voltaje es de 1VAC/14.73VDC, el valor más pequeño que se puede medir es de 338mV debido al circuito acondicionador y a la resolución misma del sensor.
- ♦ La resolución final para el sensor de corriente es de 1AmpAC / 17.68 mVDC, el valor más pequeño que se puede medir es de 281.6 mA debido a los circuitos acondicionadores y a la misma resolución del sensor.
- ♦ Se alcanzó que el mayor porcentaje de error obtenido en los sensores de corriente fue de 7.16%, el menor fue de 0.06% y el promedio fue de 2.42%. En un rango de operación de 2.5 amperios hasta 100 amperios.
- ♦ El mayor porcentaje de error obtenido en el sensor de voltaje fue de 2.25%, el menor fue de 0.8% y el promedio fue de 1.19%. En un rango de operación de 117 a 122 voltios.
- ♦ Se consiguió realizar un sistema de comunicación inalámbrica entre dos microcontroladores para mandar los datos medidos.
- ♦ Se alcanzó desplegar la información de consumo en tiempo real a un dispositivo inalámbrico con una pantalla glcd.
- ♦ Se logró realizar un record histórico del consumo eléctrico de una casa.

## IX. RECOMENDACIONES

- ♦ Verificar el rango de operación del sensor de corriente y de voltaje y el lugar en donde serán colocados. De tal manera que dependiendo de la aplicación no se vayan a sobrepasar los límites de medición. Esto si el dispositivo se va a utilizar en pequeñas o medianas industrias donde se consume una mayor corriente y se trabajan con otros voltajes.
- ♦ Utilizar interrupciones para el manejo de botones, del tiempo y de la identificación de los cruces por cero de las ondas sinusoidales.
- ♦ Realizar programación defensiva para que el sistema sea más robusto y rápido.
- ♦ Aumentar la velocidad de comunicación de los módulos Xbee. Aumentar la velocidad de operación de los microcontroladores.
- ♦ Incorporar otro sensor de corriente para poder medir sistemas trifásicos.
- ♦ Proporcionar mayor protección física a los sensores de corriente, para que estos nos dañen ante el maltrato.
- ♦ Se recomienda verificar el calibre o tamaño del cable al que se le colocará el sensor, ya que es de vital importancia que cuando el núcleo este cerrado no haya espacio debido a que el cable es muy grueso.
- ♦ En los divisores de voltaje, tener los voltajes lo más cercano posible a los calculados para que de esta manera no se tenga algún tipo de error en las conversiones. Se recomendaría utilizar elementos de precisión.
- ♦ Utilizar seguidores de voltaje para garantizar el desacople y que el voltaje no disminuya.
- ♦ Tener un módulo Xbee conectado al computador para también recibir datos y desplegarlos en una aplicación o bien poder enviarlos a un servidor por medio de internet.
- ♦ Tener un módulo de hardware y software donde se pueda detectar correctamente el cruce por cero de las ondas producidas por el sensor de corriente y el sensor de voltaje.
- ♦ Los datos almacenados en el dispositivo de despliegue se deberían poder retirar y analizarlos en una computadora.
- ♦ En el dispositivo de despliegue considerar un módulo de ahorro de energía para la pantalla y que esta no este encendida todo el tiempo.
- ♦ Incluir en el historial más datos como lo son la potencia real, potencia aparente y los factores de potencia. A demás de la hora, fecha y la energía consumida.

## X. BIBLIOGRAFÍA

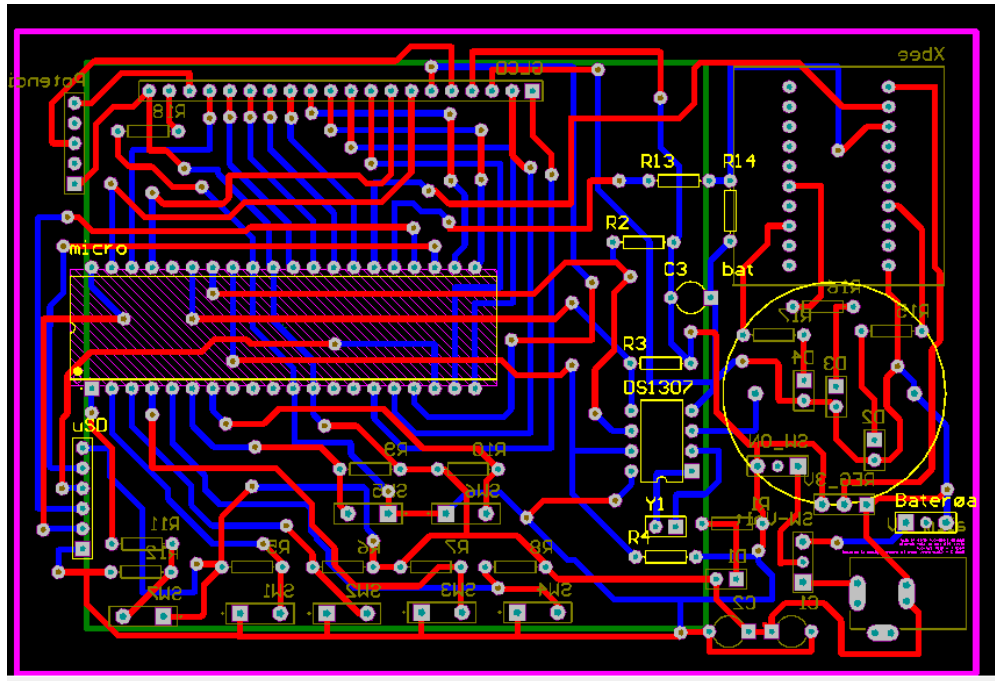
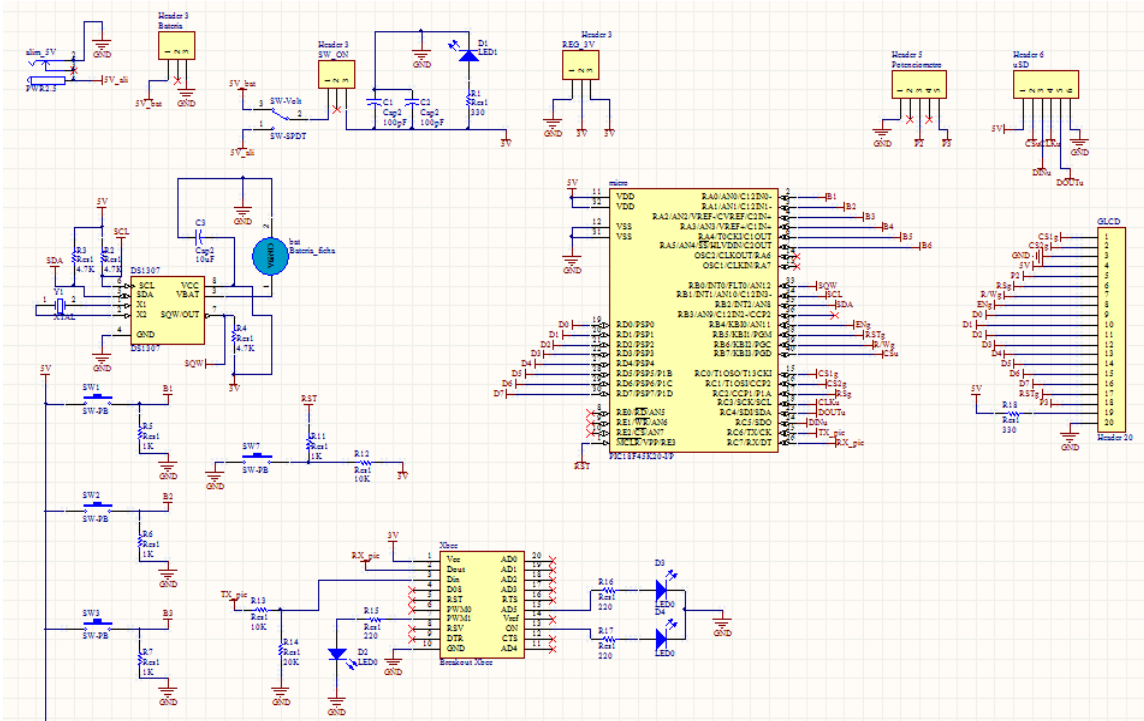
- [1] A. Charles, «Power,» de *Fundamentals of Electric Circuits*, USA, McGraw Hill Higher Education, 2012, p. 527.
- [2] A. H. Apuntes, «Recursos del PIC. Uso de la memoria EEPROM interna,» [En línea]. Available: <http://www.aquihayapuntes.com/indice-practicas-pic-en-c/memoria-eprom-interna-del-pic.html>. [Último acceso: 2013].
- [3] B.-M. Projects, «A real time Clock IC(DS1307) project using the PIC micro,» [En línea]. Available: <http://www.best-microcontroller-projects.com/real-time-clock-ic.html>. [Último acceso: 2013].
- [4] BuenasTareas, «Sistema Monofásico de tres hilos o conductores,» [En línea]. Available: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistema-Monof%C3%A1sico-De-Tres-Hilos-o/2157698.html>. [Último acceso: 2013].
- [5] Cnne, «Componentes de distribución,» [En línea]. Available: <http://www.cnee.gob.gt/>. [Último acceso: 2013].
- [6] Codensa, «Acometidas eléctricas e instalaciones de medidores en baja tensión,» 2010. [En línea]. Available: [http://www.codensa.com.co/documentos/04\\_27\\_2005\\_4\\_31\\_37\\_PM\\_Acometidas%20web.pdf](http://www.codensa.com.co/documentos/04_27_2005_4_31_37_PM_Acometidas%20web.pdf). [Último acceso: 2013].
- [7] Digi, «RF Feature Articles,» [En línea]. Available: <http://www.digi.com/technology/rf-articles/rf-basics>. [Último acceso: 2013].
- [8] E. Harper, de *El abc de las instalaciones Eléctricas*, México, Limusa - Norega Editors, 2005, p. 239.
- [9] E. Harper, de *Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas*, México, Limusna - Norega Editors, 2004, p. 362.
- [10] EEGSA, «Empresa eléctrica de Guatemala,» [En línea]. Available: <http://www.eegsa.com/>. [Último acceso: 2013].
- [11] G. Boriello, «Radio Frequency Communications,» [En línea]. Available: <http://courses.cs.washington.edu/courses/cse477/99au/tutorials/RF/rf.ppt>. [Último acceso: 2013].
- [12] GeekTheory, «Tutorial Arduino - Conexión Xbee punto a punto,» [En línea]. Available: <http://www.geekytheory.com/tutorial-arduino-comenzando-con-xbee/>. [Último acceso: 2013].
- [13] H. Electronics, «MicroSD cards pinouts,» [En línea]. Available: <http://www.hobbytronics.co.uk/pinout-microsd>. [Último acceso: 2013].
- [14] H. S. Works, «How Rom Works,» [En línea]. Available: <http://computer.howstuffworks.com/rom.htm>. [Último acceso: 2013].

- [15] J. Alvarez, «Transformadores Monofásicos,» 2009. [En línea]. Available: [http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes\\_EyM/Capitulo\\_7\\_Transformador.pdf](http://www.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_7_Transformador.pdf). [Último acceso: 2013].
- [16] J. Cogdell y G. Hernández, «Fundamentos de Circuitos Eléctricos,» España, Pearson Educación, 2000, p. 387.
- [17] J. W. Nilsson y S. A. Riedel, «Cálculos de potencia en régimen permanente sinusoidal,» de *Circuitos Eléctricos*, Madrid, 7ma edición, Pearson Prentice Hall, 2008, p. 1015.
- [18] M. Crape, de *Electric Power Systems*, Londres, Lste Ltd, Wiley & Sons, 2003, p. 310.
- [19] Mikroelectronika, «PIC Real Time clock - 4 Methods For a Precision Time Clock,» [En línea]. Available: <http://www.mikroe.com/forum/viewtopic.php?t=10057>. [Último acceso: 2013].
- [20] N. Instruments, «Introduction to RF & Wireless Communications Systems,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/3541/en>. [Último acceso: 2013].
- [21] R. Pallas, de *Sensores y acondicionadores de Señal*, España, 4ta Edición, Marcombo S.A., 2003, p. 474.
- [22] S. M. Kamakshaiah y A. J. Pannala, de *Electrical Measurements and measuring Instruments*, India, International Publishing House, 2010, p. 517.
- [23] S. Sivanagaraju y S. Satyanarayana, «Transmission and Distribution,» de *Electric Power*, India, Dorling Kindersley, 2009, p. 610.
- [24] T. d. Monterrey, «Sistema de distribución de energía eléctrica,» [En línea]. Available: [http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/CEE/presentaciones/4\\_TE\\_1\\_Fundamentales.ppt](http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/CEE/presentaciones/4_TE_1_Fundamentales.ppt). [Último acceso: 2013].
- [25] U. Bakshi y A. Bakshi, «Sinusoidal Steady State Analysis,» de *Electric Circuits*, India, Technical Publications Pune, 2008, p. 480.
- [26] U. Bakshi y A. Bakshi, de *Electrical Measurements & Measuring Instrumentes*, India, Technical Publications, 2009, p. 354.
- [27] Webopedia, «Random Acces Memory,» [En línea]. Available: <http://www.webopedia.com/TERM/R/RAM.html>. [Último acceso: 2013].
- [28] Wikipedia, «Energía Eléctrica,» [En línea]. Available: [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica). [Último acceso: 2013].
- [29] Wikipedia, «Radio Frecuencia,» [En línea]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_frequency](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency). [Último acceso: 2013].
- [30] wikipedia, «Tipos de Transformadores,» [En línea]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Transformer\\_types](http://en.wikipedia.org/wiki/Transformer_types). [Último acceso: 2013].
- [31] Wisegeek, «What is electrical Eenergy?,» [En línea]. Available: <http://www.wisegeek.com/what-is-electrical-energy.htm>. [Último acceso: 2013].

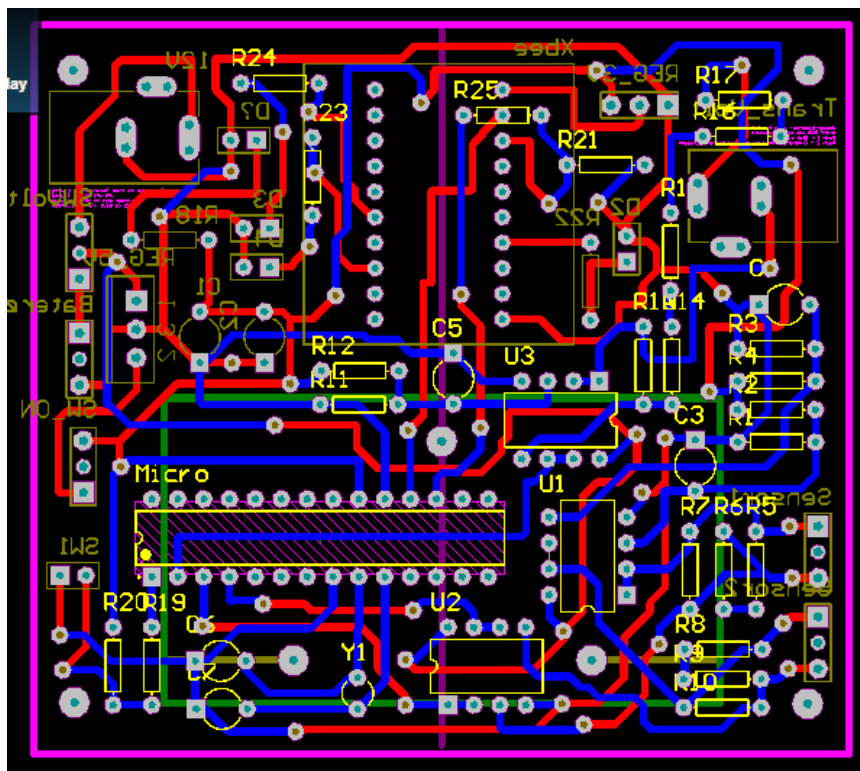
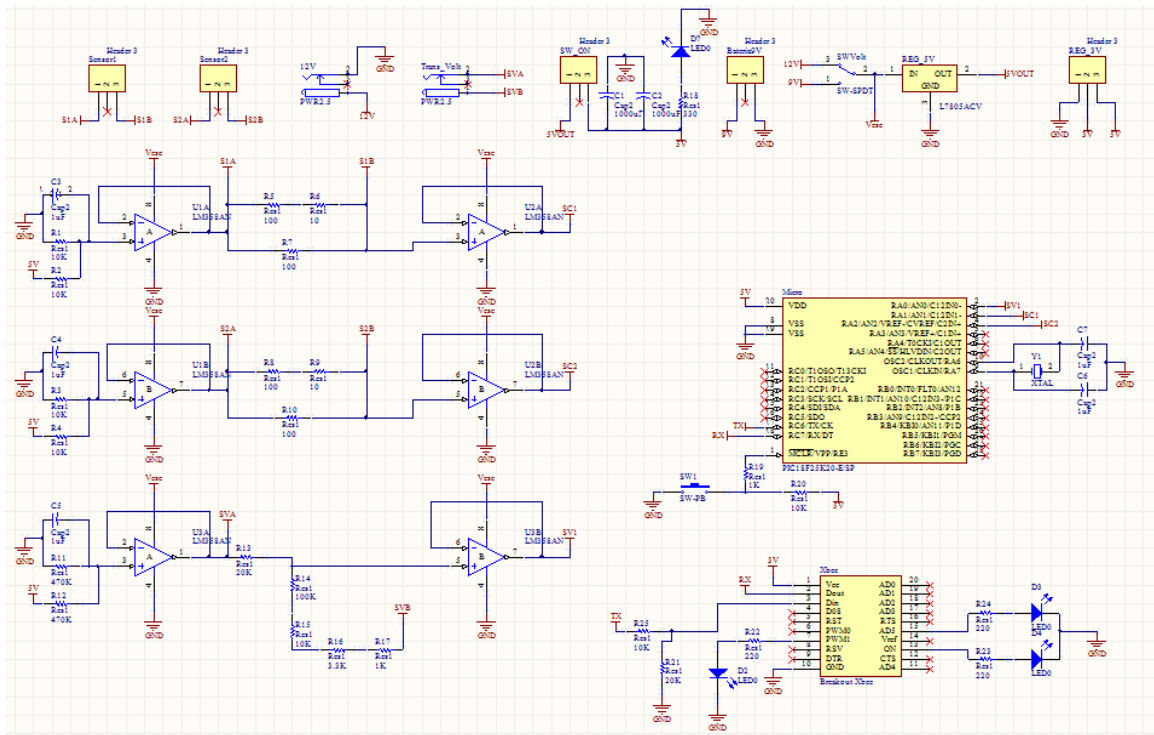
- [32] Wkipedia, «GLCD,» [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/GLCD>. [Último acceso: 2013].
- [33] Wkipedia, «Zigbee,» [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>.. [Último acceso: 2013].
- [34] Xbee-CL, «X-Bee módulos de transmisión inalámbrica,» [En línea]. Available: <http://www.xbee.cl/>. [Último acceso: 2013].
- [35] Z. Milivojevic y D. Saponjic, «Programing dsPIC MCU in C,» [En línea]. Available: <http://www.mikroe.com/products/view/266/programming-dspic-mcu-in-c/>. [Último acceso: 2013].

# XI. ANEXOS

## A. Diagramas de dispositivo de despliegue.



B. Diagrama de dispositivo de medición.



## C. Hoja de datos de sensor de corriente.



## AC Current transformer TT 100-SD

Split core transducer for the electronic measurement of AC waveform currents, with galvanic isolation between the primary circuit (power) and the secondary circuit (measurement).



$I_{PN} = 100 \text{ A}$



### Electrical data

$I_{PN}$	Primary nominal current rms	100	A
$I_{OUT}$	Output current	33.33	mA
$V_{OUT}$	Output clamping voltage	7.5	V
$I_{OV}$	Overload capability - continuous	300	A
	- 1 min	4000	A

### Performance data

$X_{rel}$	Overall accuracy @ $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 1$	%
$\epsilon_{rel}$	Linearity error	0.1	%
$TCI_{OUT}$	Temperature coefficient of $I_{OUT}$	60	ppm/K
$\Delta\phi$	Phase shift	$1.5^\circ \pm 1^\circ$	
BW	Frequency bandwidth ( $\pm 1\text{dB}$ )	50/60	Hz

### General data

$T_A$	Ambient operating temperature	$-25 \dots +70$	$^\circ\text{C}$
$T_S$	Ambient storage temperature	$-30 \dots +90$	$^\circ\text{C}$
$m$	Mass	100	g
IPxx	Protection degree	IP40	

### Isolation characteristics

$V_{is}$	Rated isolation voltage rms <sup>1)</sup> with IEC 61010-1 standards and following conditions : - Reinforced isolation - Over voltage category CAT III - Pollution degree PD2 - Heterogeneous field	300	V
$V_{is}^{AC}$	Rms voltage for AC isolation test <sup>2)</sup> , 50Hz, 1min	3.5	kV
$\hat{V}_{is}$	Impulse withstand voltage 1.2/50µs	6.5	kV
dCp	Creepage distance	6	mm
dCl	Clearance distance	6	mm
CTI	Comparative tracking index (Group I)	600	

**Notes :** <sup>1)</sup> If insulated cable is used for the primary circuit, the voltage category could be improved according to the primary cable insulation category (please refer to the cable manufacturer's indications)

<sup>2)</sup> between primary (completely filling the hole) and secondary.

### Features

- Split core type
- $\varnothing$  16 mm sensing aperture for non-contact measurement
- Cable output (1m)
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

### Advantages

- High accuracy and low phase shift
- High isolation between primary and secondary circuits
- Compact case
- Cost-effective solution
- Easy installation.

### Applications

- **Power meters**  
Current measurement for active power calculation
- **Energy sub-meters**  
For energy efficiency monitoring, consumption analysis and costs allocation
- **Power quality monitoring**
- **Condition monitoring**  
(e.g. motor loads such as conveyers, pumps or HVAC)
- **Distributed measurement systems**

### Application domain

- Energy and Automation



## Current transformer TT 100-SD

### Safety and warning notes

In order to guarantee safe operation of the transducer and to be able to make proper use of all features and functions, please read these instructions thoroughly!

Safe operation can only be guaranteed if the transducer is used for the purpose it has been designed for and within the limits of the technical specifications.

Ensure you get up-to-date technical information that can be found in the latest associated datasheet under [www.lem.com](http://www.lem.com).



#### Caution! Risk of danger

Ignoring the warnings can lead to serious injury and/or cause damage!

The electric measuring transducer may only be installed and put into operation by qualified personnel that have received an appropriate training.

The corresponding national regulations shall be observed during installation and operation of the transducer and any electrical conductor.

The transducer shall be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements and in accordance with all the related systems and components manufacturers' operating instructions.



#### Caution! Risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module may carry hazardous live voltage (e.g. primary conductor, power supply).

The user shall ensure to take all measures necessary to protect against electrical shock.

The transducer is a built-in device containing conducting parts that shall not be accessible after installation. A protective enclosure or additional insulation barrier may be necessary.

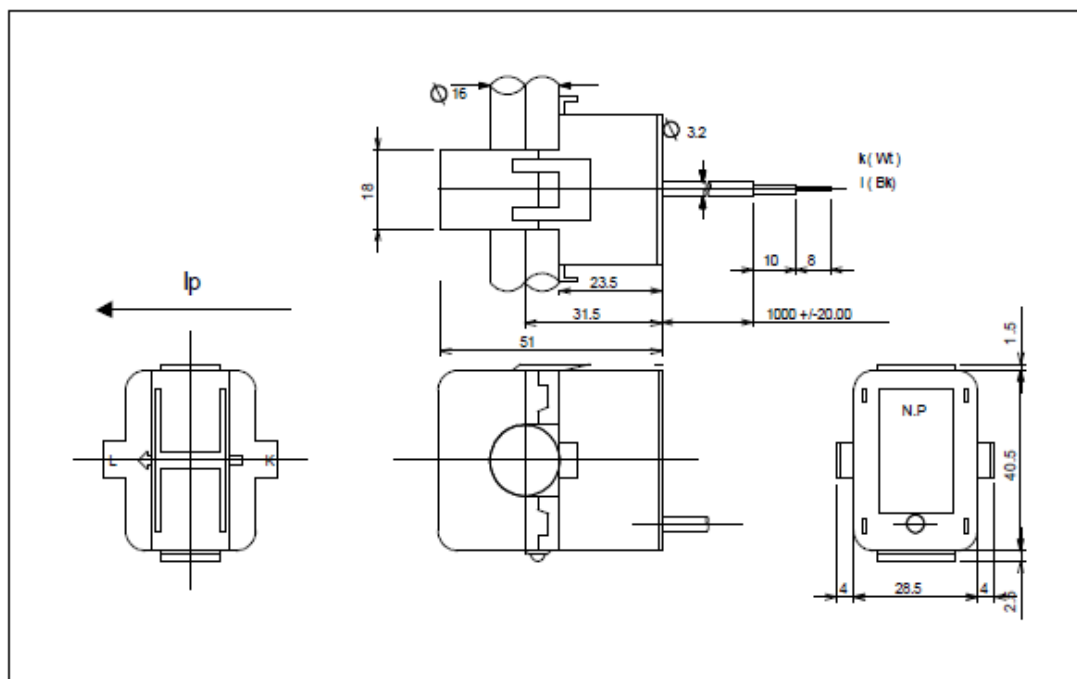
The transducer shall not be put into operation if the jaw opening is open (split core version) or the installation is not completed.

Installation and maintenance shall be done with the main power supply disconnected except if there are no hazardous live parts in or in close proximity to the system and if the applicable national regulations are fully observed.

Safe and trouble-free operation of this transducer can only be guaranteed if transport, storage and installation are carried out correctly and operation and maintenance are carried out with care.



### Dimensions TT 100-SD (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



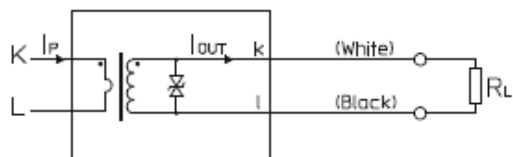
### Mechanical characteristics

• General tolerance	$\pm 1$ mm
• Primary aperture	$\varnothing 16$ mm
• Fastening	Cable tie
• Output cable length	1000 mm

### Remark

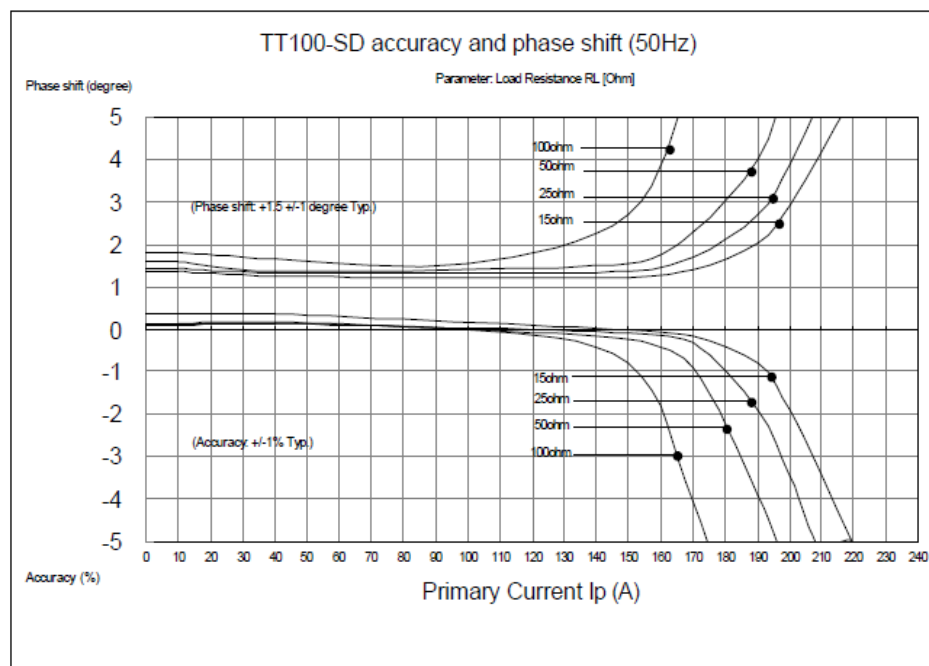
- ATTENTION: contact areas (air gap) must be kept clean (particle free) to ensure proper performance

### Connections





## Electrical output characteristics



## D. RTC DS1307.



## DS1307 64 x 8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock

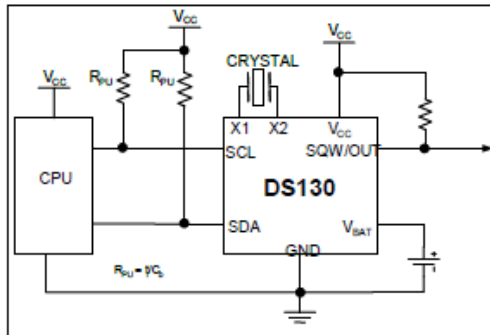
### GENERAL DESCRIPTION

The DS1307 serial real-time clock (RTC) is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially through an I<sup>2</sup>C, bidirectional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power-sense circuit that detects power failures and automatically switches to the backup supply. Timekeeping operation continues while the part operates from the backup supply.

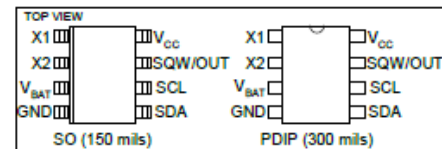
### FEATURES

- Real-Time Clock (RTC) Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the week, and Year with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
- 56-Byte, Battery-Backed, General-Purpose RAM with Unlimited Writes
- I<sup>2</sup>C Serial Interface
- Programmable Square-Wave Output Signal
- Automatic Power-Fail Detect and Switch Circuitry
- Consumes Less than 500nA in Battery-Backup Mode with Oscillator Running
- Optional Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C
- Available in 8-Pin Plastic DIP or SO
- Underwriters Laboratories (UL) Recognized

### TYPICAL OPERATING CIRCUIT



### PIN CONFIGURATIONS



### ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	VOLTAGE (V)	PIN-PACKAGE	TOP MARK*
DS1307+	0°C to +70°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307
DS1307N+	-40°C to +85°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307N
DS1307Z+	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307
DS1307ZN+	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307N
DS1307Z+T&R	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307
DS1307ZN+T&R	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307N

+Denotes a lead-free/RoHS-compliant package.

\*A "+" anywhere on the top mark indicates a lead-free package. An "N" anywhere on the top mark indicates an industrial temperature range device.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature Range (Noncondensing)	
Commercial	0°C to +70°C
Industrial	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Soldering Temperature (DIP, leads)	+260°C for 10 seconds
Soldering Temperature (surface mount)	Refer to the JPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to the absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS**

( $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Logic 1 Input	$V_{IH}$		2.2		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input	$V_{IL}$		-0.3		+0.8	V
$V_{BAT}$ Battery Voltage	$V_{BAT}$		2.0	3	3.5	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

( $V_{CC} = 4.5\text{V}$  to  $5.5\text{V}$ ;  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Leakage (SCL)	$I_{LI}$		-1		1	$\mu\text{A}$
I/O Leakage (SDA, SQW/OUT)	$I_{LO}$		-1		1	$\mu\text{A}$
Logic 0 Output ( $I_{OL} = 5\text{mA}$ )	$V_{OL}$				0.4	V
Active Supply Current ( $f_{SCL} = 100\text{kHz}$ )	$I_{CCA}$				1.5	mA
Standby Current	$I_{CCS}$	(Note 3)			200	$\mu\text{A}$
$V_{BAT}$ Leakage Current	$I_{BATLKG}$			5	50	nA
Power-Fail Voltage ( $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ )	$V_{PF}$		$1.216 \times V_{BAT}$	$1.25 \times V_{BAT}$	$1.284 \times V_{BAT}$	V

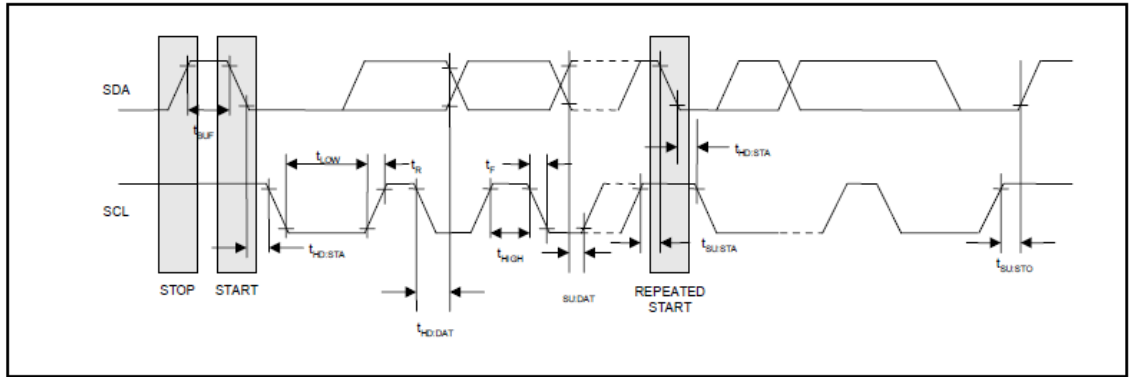
**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

( $V_{CC} = 0\text{V}$ ,  $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ ;  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

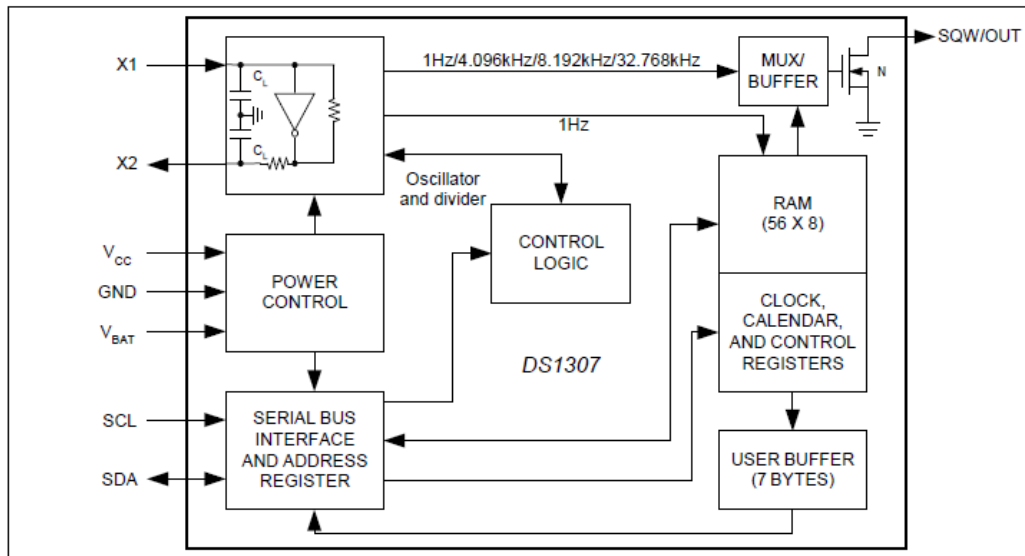
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{BAT}$ Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	$I_{BAT1}$			300	500	nA
$V_{BAT}$ Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	$I_{BAT2}$			480	800	nA
$V_{BAT}$ Data-Retention Current (Oscillator Off)	$I_{BATDR}$			10	100	nA

**WARNING:** Negative undershoots below -0.3V while the part is in battery-backed mode may cause loss of data.

**TIMING DIAGRAM**



**Figure 1. Block Diagram**



**PIN DESCRIPTION**

PIN	NAME	FUNCTION
1	X1	Connections for Standard 32.768kHz Quartz Crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance ( $C_L$ ) of 12.5pF. X1 is the input to the oscillator and can optionally be connected to an external 32.768kHz oscillator. The output of the internal oscillator, X2, is floated if an external oscillator is connected to X1.
2	X2	<b>Note:</b> For more information on crystal selection and crystal layout considerations, refer to <i>Application Note 58: Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks</i> .
3	V <sub>BAT</sub>	Backup Supply Input for Any Standard 3V Lithium Cell or Other Energy Source. Battery voltage must be held between the minimum and maximum limits for proper operation. Diodes in series between the battery and the V <sub>BAT</sub> pin may prevent proper operation. If a backup supply is not required, V <sub>BAT</sub> must be grounded. The nominal power-fail trip point ( $V_{PF}$ ) voltage at which access to the RTC and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V <sub>BAT</sub> nominal. A lithium battery with 48mAh or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at +25°C.  UL recognized to ensure against reverse charging current when used with a lithium battery. Go to: <a href="http://www.maxim-ic.com/qa/info/ul/">www.maxim-ic.com/qa/info/ul/</a> .
4	GND	Ground
5	SDA	Serial Data Input/Output. SDA is the data input/output for the I <sup>2</sup> C serial interface. The SDA pin is open drain and requires an external pullup resistor. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> .
6	SCL	Serial Clock Input. SCL is the clock input for the I <sup>2</sup> C interface and is used to synchronize data movement on the serial interface. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> .
7	SQW/OUT	Square Wave/Output Driver. When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square-wave frequencies (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). The SQW/OUT pin is open drain and requires an external pullup resistor. SQW/OUT operates with either V <sub>CC</sub> or V <sub>BAT</sub> applied. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> . If not used, this pin can be left floating.
8	V <sub>CC</sub>	Primary Power Supply. When voltage is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a backup supply is connected to the device and V <sub>CC</sub> is below V <sub>TP</sub> , read and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage.

**DETAILED DESCRIPTION**

The DS1307 is a low-power clock/calendar with 56 bytes of battery-backed SRAM. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The DS1307 operates as a slave device on the I<sup>2</sup>C bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When V<sub>CC</sub> falls below 1.25 x V<sub>BAT</sub>, the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out-of-tolerance system. When V<sub>CC</sub> falls below V<sub>BAT</sub>, the device switches into a low-current battery-backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to V<sub>CC</sub> when V<sub>CC</sub> is greater than V<sub>BAT</sub> +0.2V and recognizes inputs when V<sub>CC</sub> is greater than 1.25 x V<sub>BAT</sub>. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

## OSCILLATOR CIRCUIT

The DS1307 uses an external 32.768kHz crystal. The oscillator circuit does not require any external resistors or capacitors to operate. Table 1 specifies several crystal parameters for the external crystal. Figure 1 shows a functional schematic of the oscillator circuit. If using a crystal with the specified characteristics, the startup time is usually less than one second.

## CLOCK ACCURACY

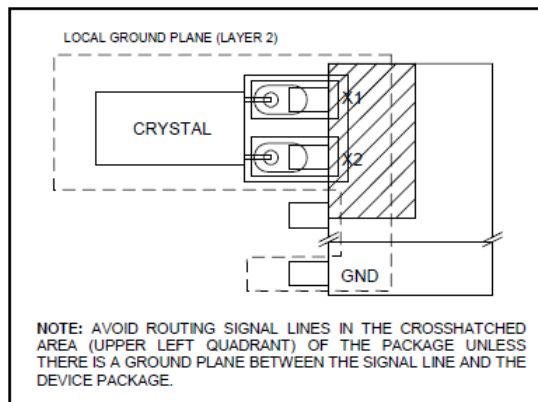
The accuracy of the clock is dependent upon the accuracy of the crystal and the accuracy of the match between the capacitive load of the oscillator circuit and the capacitive load for which the crystal was trimmed. Additional error will be added by crystal frequency drift caused by temperature shifts. External circuit noise coupled into the oscillator circuit may result in the clock running fast. Refer to Application Note 58: *Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks* for detailed information.

**Table 1. Crystal Specifications\***

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
Nominal Frequency	$f_o$		32.768		kHz
Series Resistance	ESR			45	k $\Omega$
Load Capacitance	$C_L$		12.5		pF

\*The crystal, traces, and crystal input pins should be isolated from RF generating signals. Refer to Application Note 58: *Crystal Considerations for Dallas Real-Time Clocks* for additional specifications.

**Figure 2. Recommended Layout for Crystal**



## RTC AND RAM ADDRESS MAP

Table 2 shows the address map for the DS1307 RTC and RAM registers. The RTC registers are located in address locations 00h to 07h. The RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multibyte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.

## CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. Table 2 shows the RTC registers. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. The day-of-week register increments at midnight. Values that correspond to the day of week are user-defined but must be sequential (i.e., if 1 equals Sunday, then 2 equals Monday, and so on.) Illogical time and date entries result in undefined operation. Bit 7 of Register 0 is the clock halt (CH) bit. When this bit is set to 1, the oscillator is disabled. When cleared to 0, the oscillator is enabled. On first application of power to the device the time and date registers are typically reset to 01/01/00 01 00:00:00 (MM/DD/YY DOW HH:MM:SS). The CH bit in the seconds register will be set to a 1. The clock can be halted whenever the timekeeping functions are not required, which minimizes current (I<sub>BATDR</sub>).

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12-hour or 24-hour mode-select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10-hour bit (20 to 23 hours). The hours value must be re-entered whenever the 12/24-hour mode bit is changed.

When reading or writing the time and date registers, secondary (user) buffers are used to prevent errors when the internal registers update. When reading the time and date registers, the user buffers are synchronized to the internal registers on any I<sup>2</sup>C START. The time information is read from these secondary registers while the clock continues to run. This eliminates the need to re-read the registers in case the internal registers update during a read. The divider chain is reset whenever the seconds register is written. Write transfers occur on the I<sup>2</sup>C acknowledge from the DS1307. Once the divider chain is reset, to avoid rollover issues, the remaining time and date registers must be written within one second.

**Table 2. Timekeeper Registers**

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Hours	1–12 +AM/PM 00–23
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY			Day	01–07
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	0	0	0	10 Month	Month				Month	01–12
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h–3Fh									RAM 56 x 8	00h–FFh

## CONTROL REGISTER

The DS1307 control register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

**Bit 7: Output Control (OUT).** This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square-wave output is disabled. If SQWE = 0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT = 1 and is 0 if OUT = 0. On initial application of power to the device, this bit is typically set to a 0.

**Bit 4: Square-Wave Enable (SQWE).** This bit, when set to logic 1, enables the oscillator output. The frequency of the square-wave output depends upon the value of the RS0 and RS1 bits. With the square-wave output set to 1Hz, the clock registers update on the falling edge of the square wave. On initial application of power to the device, this bit is typically set to a 0.

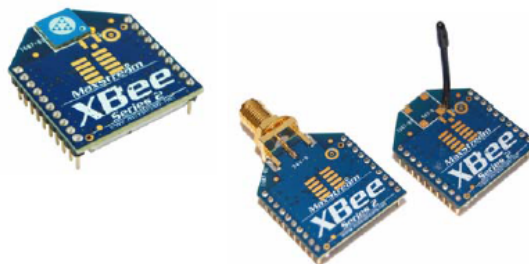
**Bits 1 and 0: Rate Select (RS[1:0]).** These bits control the frequency of the square-wave output when the square-wave output has been enabled. The following table lists the square-wave frequencies that can be selected with the RS bits. On initial application of power to the device, these bits are typically set to a 1.

RS1	RS0	SQW/OUT OUTPUT	SQWE	OUT
0	0	1Hz	1	X
0	1	4.096kHz	1	X
1	0	8.192kHz	1	X
1	1	32.768kHz	1	X
X	X	0	0	0
X	X	1	0	1

## E. XBee.

### XBee™ Series 2 OEM RF Modules

XBee Series 2 OEM RF Modules  
 ZigBee™ Networks  
 RF Module Operation  
 RF Module Configuration  
 Appendices



#### Product Manual v1.x.1x - ZigBee Protocol

For OEM RF Module Part Numbers: XB24-BxIT-00x

#### ZigBee OEM RF Modules by MaxStream, Inc. - a Digi International brand

Firmware Versions:      1.0xx - Coordinator, Transparent Operation  
                                  1.1xx - Coordinator, API Operation  
                                  1.2xx - Router, End Device, Transparent Operation  
                                  1.3xx - Router, End Device, API Operation

# 1. XBee Series 2 OEM RF Modules

The XBee Series 2 OEM RF Modules were engineered to operate within the ZigBee protocol and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between remote devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band.



## 1.1. Key Features

### High Performance, Low Cost

- Indoor/Urban: up to 133' (40 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 400' (120 m)
- Transmit Power: 2 mW (+3 dBm)
- Receiver Sensitivity: -95 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

### Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements  
 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)  
 Each direct sequence channel has over 65,000 unique network addresses available  
 Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported  
 Self-routing, self-healing and fault-tolerant mesh networking

### Low Power

XBee Series 2

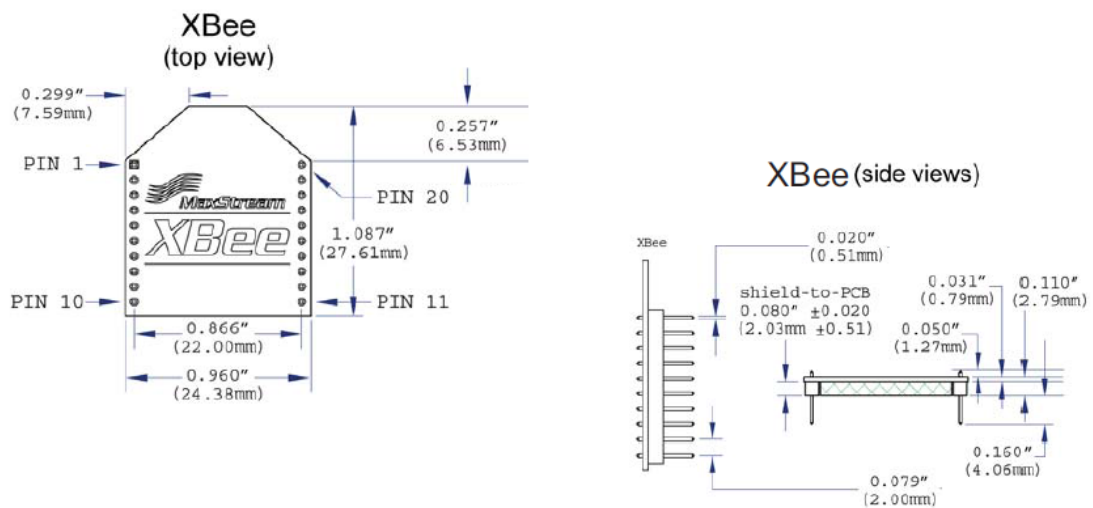
- TX Current: 40 mA (@3.3 V)
- RX Current: 40 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 1  $\mu$ A @ 25°C

### Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications  
 AT and API Command Modes for configuring module parameters  
 Small form factor  
 Extensive command set  
 Free X-CTU Software (Testing and configuration software)  
**Free & Unlimited Technical Support**

## 1.3. Mechanical Drawings

Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee Series 2 OEM RF Modules (antenna options not shown)



## 1.2. Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee Series 2 OEM RF Module (PRELIMINARY)

Specification	XBee Series 2
<b>Performance</b>	
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)
Transmit Power Output (software selectable)	2mW (+3dBm)
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-95 dBm (1% packet error rate)
<b>Power Requirements</b>	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Operating Current (Transmit)	40mA (@ 3.3 V)
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C
<b>General</b>	
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector
<b>Networking &amp; Security</b>	
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer & Mesh
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)
<b>Agency Approvals</b>	
United States (FCC Part 15.247)	Pending
Industry Canada (IC)	Pending
Europe (CE)	Pending

## 1.5. Pin Signals

Figure 1-03. XBee Series 2 RF Module Pin Number  
(top sides shown - shields on bottom)

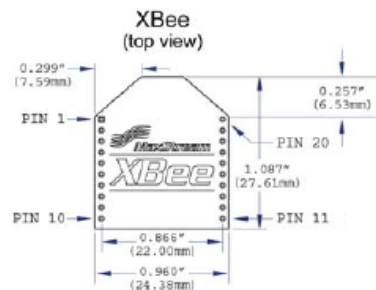


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee Series 2 Modules  
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DIO8	Either	Digital I/O 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI / DIO10	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator / Digital IO
7	PWM / DIO11	Either	Digital I/O 11
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ/ DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	DIO4	Either	Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	[reserved]	-	Do not connect
15	Associate / DIO5	Either	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	RTS / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

## 1.6. Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics of the XBee Series 2 (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Units
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.2 * VCC	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.8 * VCC	-	0.18 * VCC	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	I <sub>OL</sub> = 2 mA, VCC >= 2.7 V	-	-	0.18 * VCC	V
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	I <sub>OH</sub> = -2 mA, VCC >= 2.7 V	0.82 * VCC	-	-	V
I <sub>IN</sub>	Input Leakage Current	V <sub>IN</sub> = VCC or GND, all inputs, per pin	-	-	0.5uA	uA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	uA

