



***Universidad Michoacana de San Nicolás de
Hidalgo***

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS

***MEDIDOR DIGITAL DE VARIABLES ELECTRICAS
CON ACCESO INALAMBRICO***

***Que para obtener el Título de
INGENIERO EN ELECTRONICA***

***Presenta
RAMÓN MONTES NÚÑEZ***

***Asesor de Tesis
ING. FÉLIX JIMÉNEZ PÉREZ***

Septiembre del 2009

Dedicatoria

El presente trabajo de tesis, esta dedicado con especial afecto y profundo agradecimiento a las personas que siempre me han apoyado en todo momento y que no dudo lo seguirán haciendo por siempre.

A DIOS:

Por permitirme vivir y tener esta gran familia

A MIS PADRES:

Ramón Montes y Emilia Núñez

Por darme la vida, la oportunidad de estudiar y comprensión en todo momento

A MI HERMANA:

Emilia Montes Núñez

Por darme su amistad, cariño y apoyo incondicional

Ramón Montes Núñez

Especial Agradecimiento

Al Ing. Félix Jiménez Pérez, por su incansable apoyo desde el punto de partida, hasta la conclusión del presente trabajo, por brindarme sus conocimientos, experiencias, enseñanzas y su amistad.

Sinceramente

Ramón Montes Núñez

Agradecimiento

Porque el espacio es breve para todo lo que en verdad quisiera expresarles, reciban estas palabras de agradecimiento por todas las atenciones que he recibido de ustedes.

- A el Ing. Israel Luna del Laboratorio de Electrónica por la ayuda brindada que resulto de vital importancia para la consolidación de este trabajo de tesis.
- A mis profesores por los conocimientos teóricos y prácticos que me brindaron durante mi estancia en esta gran institución educativa.
- A los compañeros de escuela por compartir sin duda alguna una de las mejores etapas de nuestras vidas, durante nuestra formación educativa.

Por siempre Gracias

Ramón Montes Núñez

Resumen

En el presente trabajo se desarrollo un equipo de medición de variables eléctricas con monitoreo de consumo de energía eléctrica. Este equipo permite conocer voltaje RMS, corriente RMS, energía consumida por una carga, potencia aparente, potencia real y factor de potencia.

El equipo desarrollado presenta los valores obtenidos de las mediciones en un display de manera local, además de que al mismo tiempo los datos de las mediciones son transmitidos a un modulo Xbee y de este modulo se transmite de manera inalámbrica a una estación base con un modulo Xbee.

Durante el trabajo se describen los diferentes componentes usados para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo de variables eléctricas y las pruebas realizadas al equipo para comprobar el correcto funcionamiento.

Finalmente se muestra el equipo completo el cual esta conformado principalmente por un microcontrolador, un display, un modulo de transmisión (Xbee) y el circuito integrado CS5460A, así como los circuitos acondicionadores de señal y el desarrollo del software.

Índice

Dedicatoria.	ii
Agradecimientos.	iii
Resumen.	v
Contenido.	vi
Lista de Figuras.	x
Lista de Tablas.	xii
Lista de Símbolos y Abreviaciones.	xiii

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.	1
1.2. Antecedentes.	1
1.3. Objetivo.	2
1.4. Justificación.	2
1.5. Contenido de la tesis.	3

CAPÍTULO 2 METODOS DE MEDICION DE LA ENERGIA ELECTRICA

2.1. Conceptos Básicos.	4
2.1.1. Voltaje y corriente eficaz o RMS.	4
2.1.2. Potencia Eléctrica.	7
2.2. Introducción a los medidores eléctricos.	11
2.3. Medidores eléctricos	11
2.3.1. Galvanómetro.	11
2.3.2. Electrodinamómetros.	12
2.3.3. Medidores de aleta de hierro.	12
2.3.4. Medidores de termopar.	12
2.3.5. Wattmetros.	13
2.3.6. Watthorímetros.	13
2.4. Clasificación de los medidores de energía.	13

2.4.1. Clasificación según su construcción.	14
2.4.2. Clasificación según la energía que miden.	16
2.4.3. Clasificación según la exactitud.	16
2.4.4. Clasificación según la conexión en la red.	17
 CAPÍTULO 3. DESCRIPCION GENERAL DE LOS COMPONENTES	
3.1. El Microcontrolador utilizado.	18
3.1.1. PIC18F4550.	18
3.1.2. Características del PIC18F4550.	19
3.2 LCD.	20
3.2.1. Características Principales.	21
3.3. Protocolo Zigbee.	22
3.3.1. Modulo Xbee	23
3.3.2. Modos de Operación.	25
3.4. Sensor de Efecto Hall.	26
3.4.1. Aplicaciones de los sensores Hall.	26
3.4.2. Sensor de corriente LTS6-NP.	27
 CAPÍTULO 4. DESCRIPCION DEL CIRCUITO INTEGRADO CS5460A.	
4.1. Introducción.	29
4.1.1. Características Básicas.	30
4.2. Características y Especificaciones.	31
4.3. Descripción General.	33
4.3.1. Teoría de operación.	33
4.3.2. Funcionamiento.	34
4.4. Medición de la señal.	35
4.4.1 Ciclo computacional único (C=0).	36
4.4.2. Múltiples ciclos computacionales (C=1).	36
4.5. Filtros digitales de orden alto.	37
4.6. Velocidad de salida de pulsos.	38
4.7. El Puerto Serial SPI del CS5460A.	41

4.7.1. La interfaz del puerto Serie	43
4.8. Comandos (solo escritura).	45
4.8.1. Comando Start Conversion.	45
4.8.2. Comando SYNC0.	45
4.8.3. Comando SYNC1.	46
4.8.4. Comando PowerUp/Halt control.	46
4.8.5. Comando PowerDown control.	46
4.8.6. Comando Calibration control.	47
4.8.7. Comando Read/Write register.	48
4.9. Inicialización del puerto serie.	50
4.10. Inicialización del sistema.	50
4.11. Valores Iniciales de los Registros.	51
4.12. Descripción de los Registros.	52
4.12.1. Registro de Configuración.	52
4.12.2. Registro de compensación de CD del canal de voltaje y corriente.	53
4.12.3. Registro de Ganancias del canal de voltaje y corriente.	53
4.12.4. Registro Cycle Count.	54
4.12.5. Registro Pulse-Rate	54
4.12.6. Registro de resultados con signo I, V, P, E.	54
4.12.7. Registro de resultados sin signo I_{RMS} , V_{RMS} .	54
4.12.8. Registro de compensación de Angulo de Fase.	55
4.12.9. Registro Status y Registro Mascara.	55
4.12.10. Registro de Control.	56

CAPÍTULO 5. SISTEMA DESARROLLADO.

5.1. Introducción.	58
5.2. Hardware.	58
5.2.2. Fuente de alimentación.	59
5.2.3. Sensor de Corriente.	60
5.2.4. Sensor de Voltaje.	61
5.2.5. Conexiones mínimas para la operación del microcontrolador	63

PIC18F4550.	
5.2.6. Conexiones del microcontrolador PIC18F4550 con el circuito integrado CS5460A.	65
5.2.7. Conexiones del microcontrolador PIC18F4550 con el LCD 2x16.	66
5.2.8. Conexiones del microcontrolador PIC18F4550 con el Xbee.	67
5.2.9. Equipo Desarrollado.	69
5.3. Software.	70
5.3.1. Introducción.	70
5.3.2. Inicialización del Sistema.	71
5.3.3. Lectura del voltaje RMS	73
5.3.4. Lectura de la corriente RMS	74
5.3.5. Lectura de la Energía.	75
5.3.6. Obtención de la Potencia Aparente.	76
5.3.7. Obtención de la Potencia Real	77
5.3.8. Factor de Potencia.	78
5.3.9. Interrupciones.	79
5.3.10. Rutina Xbee.	80

CAPÍTULO 6. PRUEBAS EFECTUADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

6.1. Introducción	81
6.2. Pruebas Efectuadas.	81

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.	89
---	----

APENDICES

Apéndice A.- Hojas de Datos

Apéndice B.- Programa del Microcontrolador

Lista de Figuras

Figura 1.- Valores RMS.	5
Figura 2.- Componentes de la intensidad.	7
Figura 3.- Relacion entre potencias activas, aparentes y reactivas.	9
Figura 4.- Relacion voltaje, corriente y potencia.	10
Figura 5.- Medidor electromecánico o de inducción.	14
Figura 6.- Medidor electrónico.	16
Figura 7.- Esquema del microcontrolador.	18
Figura 8.- PIC18F4550.	19
Figura 9.- LCD 2x16.	20
Figura 10.- Modulo Xbee.	23
Figura 11.- Modos de operación del modulo Xbee.	25
Figura 12.- Sensor de corriente LTS6-NP.	27
Figura 13.- Voltaje de salida del sensor LTS6-NP.	28
Figura 14.- Configuracion de pines del Circuito integrado CS5460A.	30
Figura 15.- Grafica del filtro de voltaje en la entrada.	37
Figura 16.- Grafica del filtro de corriente en la entrada.	37
Figura 17.- Diagrama de registros del CS5460A.	42
Figura 18.- Secuencia para escribir o leer del CS5460A.	44
Figura 19.- Diagrama de bloques.	58
Figura 20.- Fuente de alimentación.	59
Figura 21.- Circuito esquemático del acondicionador del sensor de corriente.	60
Figura 22.- Circuito esquemático del circuito acondicionador del sensor de voltaje.	62
Figura 23.- Conexiones del microcontrolador PIC18F4550.	63
Figura 24.- Conexiones del Circuito integrado CS5460A.	64
Figura 25.- Conexiones microcontrolador PIC18F4550 con el circuito integrado CS5460A.	65
Figura 26.- Conexiones entre el microcontrolador y el LCD.	66
Figura 27.- Conexiones entre el microcontrolador y el Xbee.	68
Figura 28.- Disposicion de los componentes en el sistema mínimo.	69

Figura 29.- Entorno de desarrollo del software.	70
Figura 30.- Programador/Depurador ICD2.	71
Figura 31.- Prueba 1.	81
Figura 32.- Valor de corriente medido por el multímetro.	82
Figura 33.- Valor de corriente medido por el equipo construido..	82
Figura 34.- Valor de voltaje medido por el multímetro.	83
Figura 35.- Valor de voltaje medido por el equipo construido.	83
Figura 36.- Prueba 2.	84
Figura 37.- Valor de corriente medido por el multímetro.	84
Figura 38.- Valor de corriente medido por el equipo construido.	85
Figura 39.- Valor de potencia real medida por el equipo construido	85
Figura 40.- Valor de la energía consumida.	86
Figura 41.- Valor del F.P medido por el equipo construido.	86
Figura 42.- Transmisión inalámbrica a una computadora	87
Figura 43.- Transmisión inalámbrica a una unidad base.	88

Lista de Tablas

Tabla 1.- Características del PIC18F4550.	20
Tabla 2.- Pines LCD 2x16.	21
Tabla 3.- Especificaciones Xbee y Xbee Pro.	24
Tabla 4.- Características eléctricas del LTS6-NP.	27
Tabla 5.- Alternativas de Conexiones del sensor de LTS6-NP.	28
Tabla 6.- Especificaciones de errores máximos del CS5460A	35
Tabla 7.- Valores iniciales de los registros internos del CS5460A	51

Lista de Símbolos y Abreviaturas

bit	Unidad mínima binaria que representa 2 estados bien definidos (0 y 1).
Byte	Unidad binaria conformada por 8 bits
μCC	Microcontrolador
SPI	Serial port interface
K	kilo
S	Potencia Aparente
P	Potencia activa o Real
Q	Potencia Reactiva
M	mega
G	giga
m	metros
W	watts
Hz	Hertz
KHz	Kilohertz
W-h	Watts-hora
R	Resistencia
PC	Computadora Personal

CAPÍTULO 1.INTRODUCCION

1.1. Introducción

La mayoría de los medidores de variables eléctricas y sobre todo de energía de CA han sido patentados por varias compañías, así que realizar la medición con un producto elaborado implica a menudo pagar impuestos sobre patente a otra compañía. El circuito integrado CS5460A ofrece una solución integrada que proporciona un sistema de medición de potencia y de energía, requiriendo solamente voltaje y corriente como entradas. Además, la calibración es exacta para cualquier forma de onda de corriente o factor de potencia que deba ser encontrado. (MICROCHIP AN220)

Usando el CS5460A, un microcontrolador, un display y un modulo de comunicación inalámbrica, puede construirse un dispositivo simple y compacto que es capaz de medir voltaje RMS, corriente RMS, y la energía consumida por una carga. Así como de manera adicional mostrar la potencia aparente, energía real, y factor de potencia.

1.2. Antecedentes

El medidor de energía eléctrica, medidor de consumo eléctrico o contador eléctrico, es un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica de un circuito o un servicio eléctrico.

Existen medidores electromecánicos y electrónicos. Los medidores electromecánicos utilizan bobinados de corriente y de tensión para crear corrientes parásitas en un disco que, bajo la influencia de los campos magnéticos, produce un giro que mueve las agujas de la carátula. Los medidores electrónicos utilizan convertidores analógico-digitales para hacer la conversión.

Estos medidores son utilizados por la compañía que proporciona la energía eléctrica para facturar el consumo, en un periodo de tiempo, en este trabajo presentamos una opción a estos medidores.

1.3 Objetivo

El objetivo de este proyecto es desarrollar un equipo de medición (hardware y software) que realice las operaciones necesarias para obtener el consumo de energía eléctrica de forma rápida y con un buen porcentaje de exactitud ya sea en instalaciones domesticas o industriales, con posibilidades de determinar el consumo en equipos individuales, permita determinar los horarios de consumo y con la opción de consultar las mediciones de forma inalámbrica.

Objetivos específicos:

- Desarrollar un Watthorimetro (hardware) para la lectura del consumo eléctrico.
- Desarrollar el software para presentar Potencia Real, Potencia Aparente, F.P, V_{RMS} , I_{RMS} , Energía consumida.
- Implementar el sistema de transmisión en red con tecnología Xbee
- Probar el equipo y validar su funcionamiento en ambientes controlados.

1.4 Justificación

La situación energética actual tanto a nivel global como regional plantea una revaloración de los recursos energéticos disponibles y de su aprovechamiento. A su vez, la sociedad se vuelve más consciente acerca de la situación ambiental, la ecológica y la contaminación.

En los últimos tiempos se ha dado lugar a campañas sobre el correcto aprovechamiento de los recursos energéticos y programas de promoción del ahorro.

El usuario hogareño de la red eléctrica ha comenzado a darle mayor importancia al consumo de la energía eléctrica en su casa u oficina, entonces se hace necesario medir y controlar la energía que consumen los aparatos que posee.

Por lo tanto, se propone el diseño de un instrumento capaz de medir con aceptable precisión el consumo de energía eléctrica de un dispositivo conectado a la red eléctrica, de bajo costo, uso simple, confiable y absolutamente seguro para el hogar o la oficina.

Deberá ser práctico, sencillo, pequeño y podrá tener características que extiendan su utilidad como configuraciones, pantalla, comunicación con computadoras personales, etc.

La necesidad de tener control detallado de los gastos que se tienen en el consumo eléctrico de hogares, oficinas y empresas justifica el desarrollo de este proyecto.

1.5 Contenido de la tesis

- En el capítulo 1 se da una breve introducción del trabajo, así como los motivos por el cual se desarrolla y los beneficios que se obtendrán.
- En el capítulo 2 se muestran las definiciones necesarias en el desarrollo y los diferentes equipos y técnicas para la medición de energía eléctrica.
- En el capítulo 3 se presentaran los diferentes dispositivos electrónicos a utilizarse.
- En el capítulo 4 se describe el circuito integrado CS5460A
- En el capítulo 5 se describe el sistema desarrollado
- En el capítulo 6 se muestran las pruebas realizadas y resultados obtenidos

CAPÍTULO 2. METODOS DE MEDICION DE LA ENERGIA ELECTRICA.

2.1. Conceptos Básicos

En este apartado estudiaremos los conceptos que se consideran fundamentales para entender qué es y cómo funciona un Watthorimetro.

2.1.1. Voltaje y Corriente efectiva o RMS

Una de las definiciones de la corriente efectiva o RMS es la corriente continua que disiparía la misma cantidad de energía en un resistor que el que disipa la corriente alterna real. Para señales sinusoidales puras el termino RMS corresponde a las siglas en ingles de raíz cuadrada media (root mean square), y significa simplemente que se calcula la raíz cuadrada del valor promedio del cuadrado de la corriente. Puesto que i^2 varía como $\sin^2 2\pi ft$, se puede demostrar que el valor promedio de i^2 es $\frac{1}{2} I_m^2$. Por lo tanto, la corriente efectiva I , esta relacionada con el valor máximo de la corriente alterna I_m , por la expresión (1)

$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.7071 I_{max} \quad (1)$$

Esta ecuación indica que una corriente alterna con un valor máximo de 3 A produce el mismo efecto de calentamiento en un resistor que una corriente continua de $(\frac{3}{\sqrt{2}})$ A. Por lo tanto podemos decir que la potencia promedio disipada en una resistencia que conduce la corriente alterna I es $P_{prom} = I^2 R$, donde I es la corriente efectiva.

Los voltajes alternos para señales sinusoidales sin armónicos también se analizan mejor en términos de voltajes RMS, y la relación es idéntica a la anterior, es decir, el voltaje efectivo, ΔV_{rms} , está relacionado con el valor máximo del voltaje alterno, ΔV_{max} , por la expresión (2)

$$\Delta V_{rms} = \frac{\Delta V_{max}}{\sqrt{2}} = 0.7071 \Delta V_{max} \quad (2)$$

Cuando se habla de medir un voltaje de CA de 120 V de una toma de corriente eléctrica, en realidad se quiere dar a entender un voltaje rms de 120 V. Un cálculo rápido mediante la ecuación (2) muestra que un voltaje de CA de esta índole tiene en realidad un valor máximo del orden de 170 V. En este trabajo utilizaremos valores efectivos o RMS al analizar corrientes y voltajes alternos. Una razón mas para ello es que los amperímetros y voltímetros de CA están proyectados para leer valores RMS.

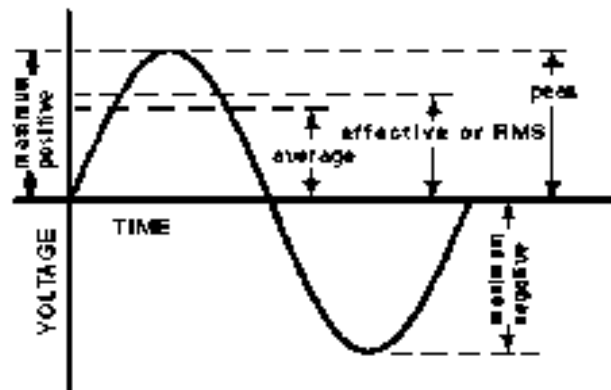


Figura 1.Valores RMS

Si durante un periodo de tiempo se obtienen varios valores de potencia instantánea, es posible entonces tener un valor promedio. Ahora, teniendo ese valor de potencia promedio, se hace circular una corriente que sea continua; el valor efectivo de corriente será aquel en que la potencia obtenida con esa corriente continua sea igual a la potencia promedio ya conseguida. Visto desde el modo matemático:

Potencia para una señal periódica.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R * dt = \frac{R}{T} \int_0^T i^2 * dt \quad (3)$$

Potencia promedio para una señal continua.

$$P = I_{eff}^2 * R \quad (4)$$

Igualando ambas ecuaciones de potencia, se despeja la corriente efectiva (I_{eff}):

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 * dt} \quad (5)$$

De similar manera se puede lograr una relación para la tensión (o voltaje), considerando la potencia de una señal periódica dependiente de la tensión:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 * dt} \quad (6)$$

2.1.2. Potencia Eléctrica

Componentes de la intensidad

Consideremos un circuito de C. A. en el que la corriente y la tensión tienen un desfase ϕ . Se define componente activa de la intensidad, I_a , a la componente de ésta que está en fase con la tensión, y componente reactiva, I_r , a la que está en cuadratura con ella (véase Figura 2). Sus valores son:

$$I_a = I \cdot \cos \phi \quad (7)$$

$$I_r = I \cdot \sin \phi \quad (8)$$

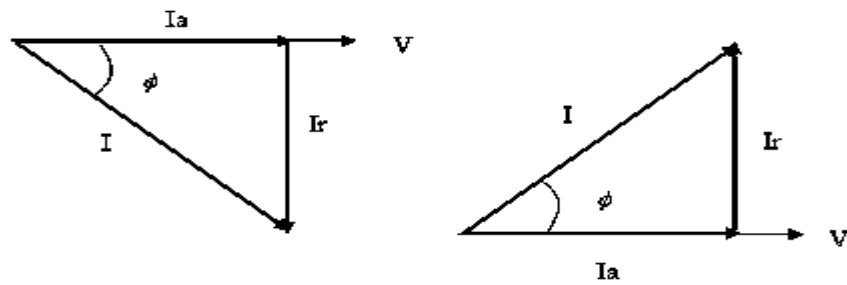


Figura 2. Componentes activa y reactiva de la intensidad; supuestos inductivos, izquierdos y capacitivos, derecha

El producto de la intensidad, I , y las de sus componentes activa, I_a , y reactiva, I_r , por la tensión, V , da como resultado las potencias aparente (S), activa (P) y reactiva (Q), respectivamente:

$$S = I \cdot V \quad (9)$$

$$P = I \cdot V \cdot \cos \phi \quad (10)$$

$$Q = I \cdot V \cdot \sin \phi \quad (11)$$

Potencia Aparente

La potencia aparente (también llamada compleja) de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma (vectorial) de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes que fluctuara entre estos componentes y la fuente de energía.

Esta potencia no es la "útil" o realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \theta=1$), y señala que la red de alimentación de un circuito no sólo proporciona la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también se debe considerar con la que van a "almacenar" bobinas y condensadores. Se la designa a la potencia aparente con la letra S y se mide en voltamperio (VA).

Su formula es:

$$S = I_{RMS} * V_{RMS} \quad (12)$$

Potencia Activa

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente "útil" o consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se designa con la letra P y se mide en watts (W). De acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

$$P = I \cdot V \cdot \cos \phi = I \cdot Z \cdot I \cos \phi = I^2 \cdot Z \cdot \cos \phi = I^2 \cdot R \quad (13)$$

Resultado que indica que la potencia activa es debida a los elementos resistivos.

Potencia Reactiva

Esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil. Por ello que se dice que es una potencia que no produce watts, se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q.

A partir de su expresión,

$$Q = I \cdot V \cdot \sin \phi = I \cdot Z \cdot I \sin \phi = I^2 \cdot Z \cdot \sin \phi = I^2 \cdot X = I^2 \cdot (X_L - X_C) = S \cdot \sin \phi \quad (14)$$

Lo que reafirma en que esta potencia es debida únicamente a los elementos reactivos.

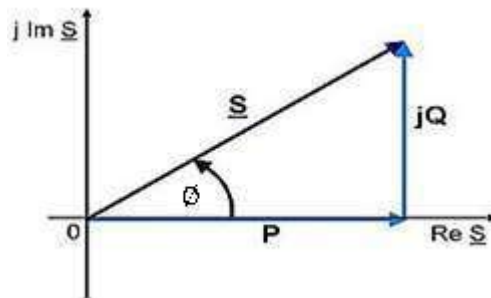


Figura 3. Relación entre potencias activas, aparentes y reactivas

Factor de Potencia

Se define factor de potencia, (f.p.) de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S. De acuerdo con el triángulo de potencias de la figura 3:

$$f.p = \cos \phi = \frac{P}{S} \quad (15)$$

Importancia del factor de potencia

- Un f.p. bajo comparado con otro alto, origina, para una misma potencia, una mayor demanda de intensidad, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección o diámetro.
- La potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el f.p., lo que origina una mayor dimensión de los generadores.

Ambas conclusiones nos llevan a un mayor coste de la instalación alimentadora. Esto no resulta práctico para las compañías eléctricas, puesto que el gasto es mayor para un f.p. bajo. Es por ello que las compañías suministradoras penalizan la existencia de un f.p. bajo, obligando a su mejora o imponiendo costes adicionales.

Un cliente debe observar el factor de potencia y en su caso tomar acciones para corregirlo, a su vez la compañía que proporciona el servicio de energía eléctrica debe medirlo para aplicar en su caso los costos adicionales, en nuestro caso el equipo es capaz de proporcionar una medición del f.p. que esta consumiendo la carga.

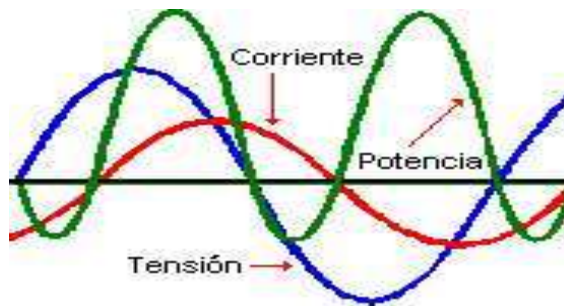


Figura 4. Relación voltaje, corriente y potencia

2.2. Introducción a los Medidores Eléctricos

La importancia de los instrumentos eléctricos de medición es incalculable, ya que mediante el uso de ellos se miden e indican magnitudes eléctricas, como corriente, carga, potencial y energía, o las características eléctricas de los circuitos, como la resistencia, la capacidad, la capacitancia y la inductancia. Además que permiten localizar las causas de una operación defectuosa en aparato eléctrico en los cuales, como es bien conocido en la mayoría de los casos, no es posible apreciar su funcionamiento en una forma visual, como en el caso de un aparato mecánico.

2.3. Medidores eléctricos

Son Instrumentos que miden magnitudes eléctricas, como intensidad de corriente, carga, potencial, energía, resistencia eléctrica, capacidad e inductancia. El resultado de estas medidas se expresa normalmente en una unidad eléctrica estándar: amperios, culombios, voltios, julios, ohmios, faradios o henrios. Dado que todas las formas de la materia presentan una o más características eléctricas es posible tomar mediciones eléctricas de un elevado número de fuentes.

2.3.1. Galvanómetro

Los galvanómetros son los instrumentos principales en la detección y medición de la corriente. Se basan en las interacciones entre una corriente eléctrica y un imán. El mecanismo del galvanómetro está diseñado de forma que un imán permanente o un electroimán produce un campo magnético, lo que genera una fuerza cuando hay un flujo de corriente en una bobina cercana al imán. El elemento móvil puede ser el imán o la bobina. La fuerza inclina el elemento móvil en un grado proporcional a la intensidad de la corriente. Este elemento móvil puede contar con un puntero o algún otro dispositivo que permita leer en un dial el grado de inclinación.

2.3.2. Electrodinamómetros

Una variante del galvanómetro, llamado electrodinamómetro, puede utilizarse para medir corrientes alternas mediante una inclinación electromagnética. Este medidor contiene una bobina fija situada en serie con una bobina móvil, que se utiliza en lugar del imán permanente del galvanómetro. Dado que la corriente de la bobina fija y la móvil se invierten en el mismo momento, la inclinación de la bobina móvil tiene lugar siempre en el mismo sentido, produciéndose una medición constante de la corriente. Los medidores de este tipo sirven también para medir corrientes continuas.

2.3.3. Medidores de aleta de hierro

Otro tipo de medidor electromagnético es el medidor de aleta de hierro o de hierro dulce. Este dispositivo utiliza dos aletas de hierro dulce, una fija y otra móvil, colocadas entre los polos de una bobina cilíndrica y larga por la que pasa la corriente que se quiere medir. La corriente induce una fuerza magnética en las dos aletas, provocando la misma inclinación, con independencia de la dirección de la corriente. La cantidad de corriente se determina midiendo el grado de inclinación de la aleta móvil.

2.3.4. Medidores de termopar

Para medir corrientes alternas de alta frecuencia se utilizan medidores que dependen del efecto calorífico de la corriente. En los medidores de termopar se hace pasar la corriente por un hilo fino que calienta la unión de termopar. El voltaje generado por el termopar se mide con un galvanómetro convencional. En los medidores de hilo incandescente la corriente pasa por un hilo fino que se calienta y se estira. El hilo está unido mecánicamente a un puntero móvil que se desplaza por una escala calibrada con valores de corriente.

2.3.5. Wattmetros

La potencia consumida por cualquiera de las partes de un circuito se mide con un Wattmetro, un instrumento parecido al electrodinamómetro. El Wattmetro tiene su bobina fija dispuesta de forma que toda la corriente del circuito la atraviese, mientras que la bobina móvil se conecta en serie con una resistencia grande y sólo deja pasar una parte proporcional del voltaje de la fuente. La inclinación resultante de la bobina móvil depende tanto de la corriente como del voltaje y puede calibrarse directamente en vatios, ya que la potencia es el producto del voltaje y la corriente.

2.3.6. Watthorímetros

El medidor de watts por hora, también llamado contador de servicio, es un dispositivo que mide la energía total consumida en un circuito eléctrico doméstico. Es parecido al wattmetro, pero se diferencia de éste en que la bobina móvil se reemplaza por un rotor. El rotor, controlado por un regulador magnético, gira a una velocidad proporcional a la cantidad de potencia consumida. El eje del rotor está conectado con engranajes a un conjunto de indicadores que registran el consumo total.

2.4. Clasificación de los medidores de energía

Los medidores de energía eléctrica, o contadores, utilizados para realizar el control del consumo, pueden clasificarse por su construcción, por la energía que miden, de acuerdo con la exactitud y por la conexión en la red.

2.4.1 Clasificación según su construcción

Medidores electromecánicos: o medidores de inducción, compuesto por un conversor electromecánico (básicamente un wattmetro con su sistema móvil de giro libre) que actúa sobre un disco, cuya velocidad de giro es proporcional a la potencia demandada, provisto de un dispositivo integrador.



Figura 5. Medidor electromecánico o de inducción

Los medidores electromecánicos utilizan bobinados de corriente y de tensión para crear corrientes parásitas en un disco que, bajo la influencia de los campos magnéticos, produce un giro que mueve las agujas de la carátula.

Funcionamiento del medidor electromecánico

El medidor electromecánico utiliza dos juegos de bobinas que producen campos magnéticos; estos campos actúan sobre un disco conductor magnético en donde se producen corrientes parásitas. La acción de las corrientes parásitas producidas por las bobinas de corriente sobre el campo magnético de las bobinas de voltaje y la acción de las corrientes parásitas producidas por las bobinas de voltaje sobre el campo magnético de las bobinas de corriente dan un resultado vectorial tal, que produce un par de giro sobre el disco. El par de giro es proporcional a la potencia consumida por el circuito.

El disco está soportado en campos magnéticos y soportes de rubí para disminuir la fricción, un sistema de engranes transmite el movimiento del disco a las agujas que cuentan el número de revoluciones del medidor. A mayor potencia más rápido gira el disco, acumulando más giros conforme pasa el tiempo.

Las tensiones máximas que soportan los medidores eléctricos son de aproximadamente 600 volts y las corrientes máximas pueden ser de hasta 200 amperes. Cuando las tensiones y las corrientes exceden estos límites se requieren de tensión y de corriente. Se utilizan factores de conversión para calcular el consumo en dichos casos.

Medidores electromecánicos con registrador electrónico: el disco giratorio del medidor de inducción se configura para generar un tren de pulsos (un valor determinado por cada rotación del disco, p.e. 5 pulsos) mediante un sensor óptico que se activa con las marcas grabadas en su cara superior. Estos pulsos son procesados por un sistema digital el cual calcula y registra valores de energía y de demanda. El medidor y el registrador pueden estar alojados en la misma unidad o en módulos separados.

Medidores totalmente electrónicos: la medición de energía y el registro se realizan por medio de un proceso análogo-digital (sistema totalmente electrónico) utilizando un microprocesador y memorias. A su vez, de acuerdo a las facilidades implementadas, estos medidores se clasifican como:

- Medidores de demanda: miden y almacenan la energía total y una única demanda en las 24 hs. (un solo períodos, una sola tarifa).
- Medidores multitarifa: miden y almacenan energía y demanda en diferentes intervalos de tiempo de las 24hs., a los que le corresponden diferentes tarifas (cuadrantes múltiples). Pueden registrar también la energía reactiva, factor de potencia, y parámetros especiales adicionales.

Para los pequeños consumidores, industriales y domiciliarios, se mantiene aún el uso de medidores de inducción de energía activa y reactiva. Para los medianos consumidores se instalan generalmente medidores electrónicos. Para los grandes consumidores, a fin de facilitar la tarea de medición y control, el medidor permite además la supervisión a distancia vía módem (en muchas marcas incorporado al medidor).



Figura 6. Medidor electrónico

2.4.2. Clasificación según la energía que miden

Medidores de energía activa: Mide el consumo de energía activa en kilowatts-hora.

Medidores de energía reactiva: Mide el consumo de energía reactiva en kilowatts-hora. La energía reactiva se mide con medidores electrónicos que miden tanto la energía activa como la energía reactiva.

2.4.3 Clasificación según la exactitud

Medidores clase 0.5: Se utilizan para medir la energía activa suministrada por empresas electrificadoras a grandes consumidores alimentados a 115 kV.

Medidores clase 1: Incluye los medidores trifásicos para medir energía activa y reactiva de grandes consumidores, para clientes mayores de 55 kW.

Cuando el cliente es no regulado la tarifa es horaria, por tanto el medidor electrónico debe tener puerto de comunicación o modem para enviar la información a través de la línea telefónica.

Medidores clase 2: Es la clasificación básica e incluye los medidores monofásicos y trifásicos para medir energía activa en casas, oficinas, locales comerciales y pequeñas industrias con cargas menores de 55 kW.

El índice de clase 0,5, 1, y 2 significa los límites de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10% nominal y la corriente máxima con un factor de potencia igual a uno.

2.4.4. Clasificación según la conexión en la red

Medidor monofásico bifilar: Se utiliza para el registro de consumo en una acometida que tenga un solo conductor activo o fase y un conductor no activo o neutro.

Medidor monofásico trifilar: Se utiliza para el registro del consumo de una acometida monofásica de fase partida (120/240 V) donde se tienen dos conductores activos y uno no activo o neutro.

Medidor bifásico trifilar: Se utiliza para el registro del consumo de energía de una acometida en B.T de dos fases y tres hilos, alimentadas de la red de B.T de distribución trifásica.

Medidor trifásico tetrafilar: Se utiliza para el consumo de energía de una acometida trifásica en B.T de tres fases y cuatro hilos.

Medidor trifásico trifilar: Se utiliza para el registro de consumo de energía de una acometida trifásica de tres fases sin neutro.

CAPÍTULO 3.DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES.

3.1. El Microcontrolador utilizado

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S. Como se muestra en la figura 7.

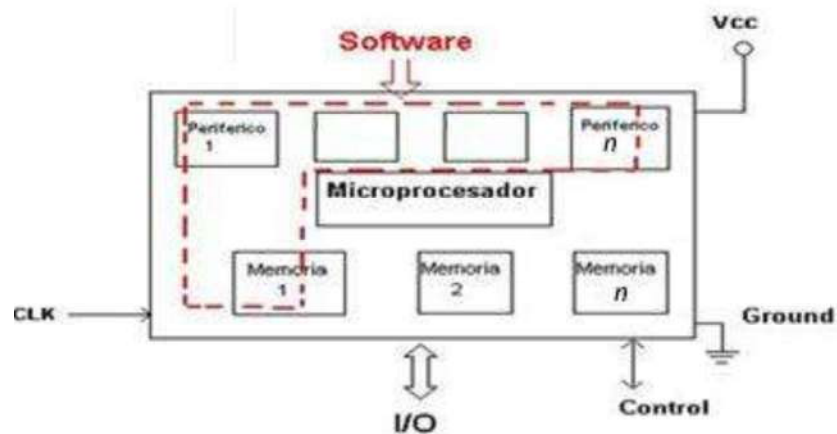


Figura 7. Esquema del microcontrolador

3.1.1. PIC18F4550

El PIC 18F4550 es un microcontrolador de alto desempeño, contiene un puerto USB y utiliza una tecnología de nano potencia. Existen tres presentaciones de este PIC, una con 28, otra con 40 y la ultima con 48 terminales. En la figura 8 se observa el diagrama de terminales para el PIC de 40 terminales.

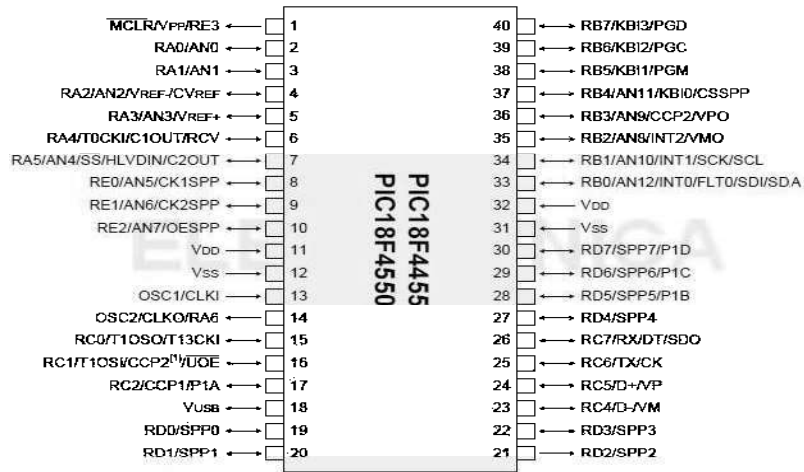


Figura 8. PIC18F4550

3.1.2. Características del microcontrolador PIC18F4550

Dentro de las características más destacables de este PIC, se encuentran las siguientes:

- Interface de comunicación USB 2.0.
 - Posibilidad de operar a una velocidad de (1.5Mb/s) a un máximo de velocidad de (12Mb/s).
- 3 pines de interrupción externos.
- 2 Comparadores analógicos
- Convertidor analógico digital de 10 bits de resolución con 13 canales.
- 4 Timers.
- Memoria para almacenar el programa en memoria tipo Flash 24 Kb.
- Memoria RAM 2Kb.
- Memoria EEPROM para almacenamiento de variables no volátiles de 256 bytes.
- 35 pines I/O
- Optimización del Hardware para la programación en lenguaje C

En la tabla 1 se observan las características del PIC18F4550 en forma resumida.

Dispositivo	Memoria Programable		Memoria de datos		I/O	10 bits del A/D (canales)	CCP/ECCP (PWM)	SSP	MSSP		EAUSART	Comparadores	Timers 8/16 bits
	FLASH (bytes)	# Palabras de instrucción simples	SRAM	EEPROM (bytes)					SPI	Maestro PC			
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Si	Si	Si	1	2	1/3

Tabla 1. Características del PIC 18F4550

3.2. LCD 2x16

La pantalla de cristal líquido o LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo de visualización alfanumérico para la presentación de caracteres y símbolos, en este caso dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz de 5x7 puntos (píxeles). Este dispositivo esta gobernado internamente por un microcontrolador Hitachi 44780 y regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el mas comúnmente usado por lo que es similar el manejo de este u otro LCD compatible.



Figura 9. LCD 2x16

3.2.1. Características Principales

- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres Kanji y Griegos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o la derecha (scroll).
- Proporciona la dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.
- Memoria de 16 caracteres por línea de pantalla.
- Movimiento del cursor y cambio de aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres personalizados.
- Conexión a un procesador usando un interfaz de 4 u 8 bits.

La pantalla de cristal liquido o LCD esta constituida por 14 pines distribuidos de la siguiente forma en la tabla 2:

PIN Nº	SIMBOLO	DESCRIPCION
1	Vss	Tierra de alimentación GND
2	Vdd	Alimentación de +5V CC
3	Vo	Contraste del cristal liquido. (0 a +5V)
4	RS	Selección del registro de control/registro de datos: RS=0 Selección registro de control RS=1 Selección registro de datos
5	R/W	Señal de lectura/escritura: R/W=0 Escritura (Write) R/W=1 Lectura (Read)
6	E	Habilitación del modulo: E=0 Módulo desconectado E=1 Módulo conectado
7-14	D0-D7	Bus de datos bidireccional.

Tabla 2. Pines LCD 2x16

3.3. Protocolo Zigbee

Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Zigbee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar comunicaciones inalámbricas. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y, sobre todo, domóticos.

Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal.

El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente de 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 250 kbps. Una red Zigbee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta enorme cantidad de dispositivos.

Entre las necesidades que satisface el módulo se encuentran:

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

Una red Zigbee la forman básicamente 3 tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (end points).

El Coordinador. Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar parte de la red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points.

Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.

Los Routers. Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de End points.

End Device. Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento

3.3.1. Modulo Xbee

Existen varios dispositivos que utilizan el protocolo ZigBee, sin embargo se decidió utilizar el modulo Xbee construido por la empresa Digi debido a son utilizados en automatización de casas, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos, aparatos domésticos, etc. Además de que nos otorgan una buena distancia de transmisión y nos permiten tener una enorme cantidad de dispositivos conectados a una red.

Los módulos Xbee fueron diseñados para funcionar dentro del protocolo Zigbee y apoyar las necesidades de bajo costo y bajo consumo de potencia de los sensores inalámbricos. Los módulos requieren un mínimo voltaje y entregan datos confiables entre dispositivos remotos. Los módulos operan dentro de la banda de frecuencia de 2.4ghz.



Figura 10. Modulo Xbee

En la tabla 3 se muestran las especificaciones básicas del Modulo Xbee.

ESPECIFICACION		Xbee	XBee-PRO
Rendimiento	Alcance en ambientes interiores/zonas urbanas.	Hasta 30 m	Hasta 100 m
	Alcance de RF en línea de visión para ambientes exteriores.	Hasta 100 m	Hasta 1200 m
	Potencia de salida de transmisión.	1 mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm), 100 mW EIRP
	Velocidad de transmisión de datos.	250 000 bps	250 000 bps
	Sensibilidad del receptor	-92 dBm (1%PER)	-100 dBm (1% PER)
Requerimiento de potencia	Suministro de voltaje	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
	Corriente de transmisión (típico)	45 mA @ 3.3V	270 mA @ 3.3V
	Corriente de recepción (típico)	50 mA @ 3.3V	55 mA @ 3.3V
	Corriente Power-Down	< 10 μ A	< 10 μ A

Tabla 3. Especificaciones XBee y XBee-PRO.

3.3.2. Modos de Operación.

Los módulos Xbee, pueden operar en los siguientes 5 modos:

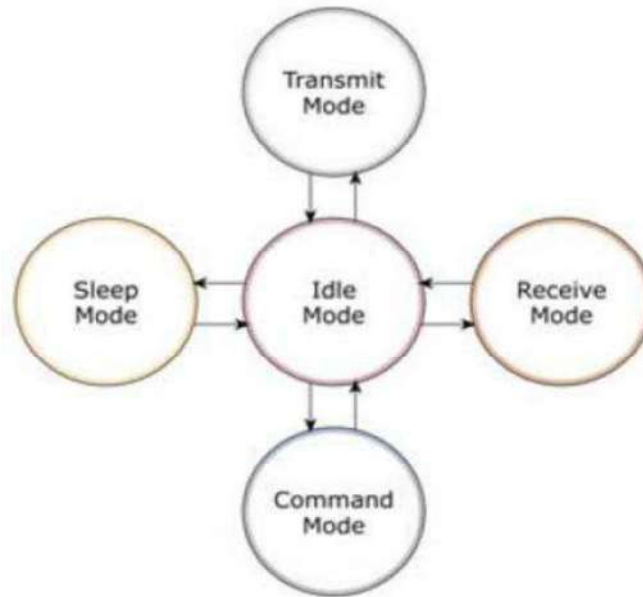


Figura 11. Modos de operación del modulo Xbee.

Modo RECIBIR/TRANSMITIR.

Se encuentra en estos modos cuando el módulo recibe algún paquete RF a través de la antena(modos Receive) o cuando se envía información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit).

La información transmitida puede ser Directa o Indirecta. En el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino. En el modo Indirecto la información es retenida por el módulo durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita.

Además es posible enviar información por dos formas diferentes. Unicast y Broadcast.

En la primera, la comunicación es desde un punto a otro, y es el único modo que permite respuesta de quien recibe el paquete RF, es decir, quien recibe debe enviar un ACK (paquete llamado así, y que indica que recibió el paquete, el usuario no puede verlo, es interno de los módulos en el modo transparente) a la dirección de origen. Quien envió el paquete, espera recibir un ACK, en caso de que no le llegue, reenviará el paquete hasta 3 veces o hasta que reciba el ACK. Después de los 3 intentos se incrementa el registro de fallas ACK en uno. Para ver el conteo se utiliza el comando EA (ATEA en el Modo de Comandos– ACK Failures), el cual se satura hasta 0xFFFF (65535 decimal). Para resetear el registro se debe ingresar ATEA0. En el modo Broadcast la comunicación es entre un nodo y a todos los nodos de la red. En este modo, no hay confirmación por ACK.

3.4. SENSOR DE EFECTO HALL

El sensor de efecto Hall (denominado según Edwin Herbert Hall) se sirve del efecto Hall para la medición de campos magnéticos o corrientes.

Si fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético; si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en el conductor o bobina.

3.4.1. Aplicaciones de los sensores Hall

- Mediciones de campos magnéticos (Densidad de flujo magnético)
- Mediciones de corriente sin potencial (Sensor de corriente)
- Emisor de señales sin contacto (Interruptores magnéticos)
- Aparatos de medida del espesor de materiales.

3.4.2. Sensor de Corriente LTS6-NP

Se decidió utilizar un sensor de efecto Hall para la medición de la corriente debido a que es fácil de implementar y acondicionar, además de que nos proporciona un método de aislamiento de la señal de C.A, tiene una muy buena linealidad, permite sobrecargas de corriente, buen tiempo de repuesta, alta inmunidad a interferencia externa, etc.

Características del Sensor: Este sensor es útil para realizar las mediciones electrónicas de corrientes de Corriente continua, corriente alterna, pulsada, mixta, con un aislamiento galvánico entre el primario (alto poder) circuito y el circuito secundario (circuito electrónico)



Figura 12. Sensor de corriente LTS6-NP

Características Eléctricas

I_{PN}	Corriente RMS en el primario por vuelta	6	At (por vuelta)
I_P	Rango de medición de la Corriente en el primario	$0 \dots \pm 19.2$	At
V_{OUT}	Voltaje de salida $I_p = 0$ I_p	2.5 $2.5 \pm (0.0625 * I_p / I_{pn})$	V
N_S	Vueltas del secundario	2000	
R_L	Resistencia de carga	≥ 2	$K\Omega$
R_M	Resistencia interna de medición	208.33	Ω

V_C

Voltaje de alimentación

5

V

Tabla 4. Características Eléctricas LTS6-NP

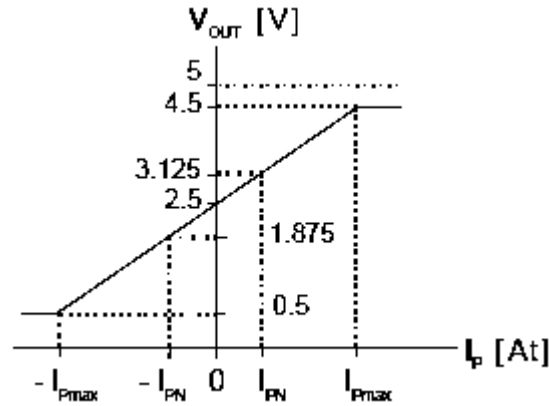


Figura 13. Grafica del voltaje de salida en la corriente en el primario

Number of primary turns	Primary nominal r.m.s. current I_{PN} [A]	Nominal output voltage V_{OUT} [V]	Primary resistance R_p [m Ω]	Primary insertion inductance L_p [μ H]	Recommended connections
1	± 6	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	± 3	2.5 ± 0.625	0.81	0.05	
3	± 2	2.5 ± 0.625	1.62	0.12	

Tabla 5. Alternativas de conexiones.

CAPÍTULO 4. DESCRIPCION DEL CS5460A

4.1. Introducción

Debido a la relevancia de este circuito integrado en el desarrollo de este trabajo se decidió incluir un capítulo para la descripción del mismo.

El circuito CS5460, es un circuito integrado de alta escala de integración, que permite la medición de energía eléctrica, este circuito combina el uso de 2 convertidores A/D del tipo $\Delta\Sigma$ (delta-sigma), funciones de cálculo de potencia de alta velocidad y una interfaz serial en un solo circuito integrado. Este diseño está pensado para obtener mediciones y cálculos de:

- Energía Real
- Potencia Instantánea
- Corriente RMS
- Voltaje RMS

Estas mediciones se realizan en una fase.

Para realizar la medición de corriente este circuito integrado se puede conectar ya sea a una resistencia shunt o a un transformador de corriente. Para la medición de voltaje, es posible conectarlo a un divisor resistivo o a un transformador de voltaje.

Otra característica adicional de este circuito es la conexión bidireccional utilizando un puerto serial SPI para la conexión de un microcontrolador. Y un sistema de generación de pulsos, donde la frecuencia de los pulsos es proporcional a la potencia real.

Para facilitar la calibración de las mediciones del circuito se cuenta con un sistema de desplazamiento de AC o DC.

Existe un modo denominado Auto-Boot, este modo de operación es capaz de leer de una memoria externa los valores de calibración preprogramados, todo sin la ayuda de un

microcontrolador. Este modo de operación permite la reducción de los costos para sistemas autónomos.

4.1.1. Características Básicas:

- Datos de medición de energía con una error de $\pm 0.1 \%$
- Funciones de medición de Energía (Real), corriente IRMS, Voltaje VRMS y conversión de energía a pulsos.
- Sistema de calibración para componentes de AC y DC
- Salida directa para el control de Contadores/motores de paso
- Consumo de potencia típico inferior a los 12 mW
- Interfaz optimizada para la conexión de sensores tipo “Shunt”
- Compensación de corrimiento de Fase Voltaje vs. Corriente debido a los sensores.
- Señales referenciadas a tierra para el uso de una sola fuente de alimentación
- Voltaje de referencia de 2.5 volts generado por el propio circuito integrado
- Interfaz a microprocesador/microcontrolador tipo SPI (uso de solo 3 líneas)
- Timer Watch-Dog
- Configuración de conexión de alimentación
 - VA+ = +5 volts
 - VA- = 0.0 volts
 - VD+ = +3.3 volts a + 5Volts

Crystal Out	XOUT	1	24	XIN	Crystal In
CPU Clock Output	CPUCLK	2	23	SDI	Serial Data Input
Positive Digital Supply	VD+	3	22	EDIR	Energy Direction Indicator
Digital Ground	DGND	4	21	EOUT	Energy Output
Serial Clock Input	SCLK	5	20	INT	Interrupt
Serial Data Output	SDO	6	19	RESET	Reset
Chip Select	CS	7	18	NC	No Connect
No Connect	NC	8	17	PFMON	Power Fail Monitor
Differential Voltage Input	VIN+	9	16	IIN+	Differential Current Input
Differential Voltage Input	VIN-	10	15	IIN-	Differential Current Input
Voltage Reference Output	VREFOUT	11	14	VA+	Positive Analog Supply
Voltage Reference Input	VREFIN	12	13	VA-	Analog Ground

Figura 14. Configuración de pines

4.2. Características y Especificaciones

Características Analógicas

TA = -40°C a +85°C; VA+ = VD+ = +5 Volts +- 10%; VREFIN = +2.5 volts;

VA- = AGND = 0.0Volts

MCLK = 4.096 MHz K = 1; N = 4000 --> OWR = 4000 muestras por segundo.

Canal de corriente:

Parámetro	Rango de Operación
Máximo rango de voltaje de la entrada diferencial (VIIN+)-(VIIN-) Ganancia = 10 Ganancia = 50	500 mV(p-p) 100 mV(p-p)
Modo común+ Señal en IIN+ o IIN-	Mínimo -0.25 volts Máximo VA+ volts
Capacitancia de entrada Ganancia = 10 Ganancia = 50	25 pF 25pF
Impedancia de entrada efectiva	30 KΩ

Canal de voltaje:

Parámetro	Rango de Operación
Máximo rango de voltaje de la entrada diferencial (VVIN+)-(VVIN-)	500 mV(p-p)
Modo común+ Señal en IIN+ o IIN-	Mínimo VA- volts Máximo VA+ volts
Capacitancia de entrada Ganancia = 10 Ganancia = 50	0.2 pF 0.2 pF

Impedancia de entrada efectiva	5 MΩ
--------------------------------	------

Características Dinámicas

Parámetro	Rango de Operación
Rango de compensación de Fase (Canal de voltaje a 60 Hz)	-2.4° a +2.5 °
Rango de calibración de DC a plena escala	25-100 % de plena escala
Error en el corrimiento de tiempo de canal a canal (con PC[6:0]="0000000")	1 uSeg.

Características de Alimentación

Parámetro	Rango de Operación
Consumo de potencia	21 mW
Nivel de detección de Falla de energía	2.45 volts
Nivel de restablecimiento de energía	2.70 volts
Voltaje de referencia de salida	+2.4 a +2.5 volts
Voltaje de referencia de entrada	+2.5 volts

Características Digitales

Parámetro	Rango de Operación
Entrada de nivel alto	0.8 * VD+ = 4.0 Volts
Entrada de nivel bajo	1.0 Volts
Salida de nivel alto	4 volts
Salida de nivel bajo	0.4 volts
Frecuencia del puerto serial (xtal = 4.096 MHz)	2 MHz

4.3. Descripción General

El circuito integrado CS5460 es un dispositivo de medición de potencia/energía real. Contiene 2 amplificadores de ganancia programables dos moduladores $\Delta\Sigma$ (delta-sigma), dos filtros de orden alto, sistema de calibración y funciones para el cálculo, de potencia, voltaje rms, corriente rms y potencia instantánea.

Para realizar la medición de corriente, este circuito esta optimizado para utilizar una resistencia shunt o un transformador de corriente. Para la medición del voltaje, se puede utilizar un divisor de voltaje o un transformador de voltaje. Para utilizar diferentes niveles de voltaje de entrada, es posible programar la ganancia de la entrada de corriente, lo que permite al usuario utilizar entradas acondicionadas de 250 mV rms o 50 mV rms.

Este circuito también contiene 2 filtros digitales de orden alto, que proporcionan datos de salida a una razón de $(MCLR/K)/1024$. Un filtro pasa altas que se encuentra en cada una de las entradas, permite eliminar la componente de CD antes de realizar cualquier cálculo. Para facilitar la comunicación entre este circuito integrado y un microcontrolador, tiene integrado un puerto de comunicación serial del tipo SPI.

4.3.1. Teoría de operación

El CS5460A, esta diseñado para operar con un fuente única de +5.0 volts, o bien una fuente bipolar de +2.5 y -2.5 volts, esto permite introducir señales para la entrada de corriente entre 50 mVrms y 250 mVrms, y de 250 mVrms para la señal de voltaje.

Con una fuente de +5 volts (monopolar) este circuito está diseñado para utilizar las señales en modo común de entre -0.25 volts y VA+.

4.3.2. Funcionamiento

El Principio de operación del circuito integrado CS5460A se basa en medir el voltaje y corriente instantáneo de la línea, en este trabajo la frecuencia de muestreo de la señal será de 4KHz utilizando un cristal de 4.096MHz. Estas mediciones son utilizadas para calcular potencia instantánea, voltaje RMS, corriente RMS y la energía acumulada transferida.

Todas las mediciones y resultados son leídas por un control externo por medio del protocolo de comunicación SPI. La transferencia de energía es indicada por un pulso de salida en el pin $\overline{EOUT}$ y la dirección de la energía por el pin $\overline{EDIR}$.

La comunicación del circuito integrado CS5460A con el microcontrolador PIC18F4550 se realiza a través del protocolo de comunicación SPI. El circuito integrado CS5460A es configurado y controlado por el μ CC, los resultados de los cálculos también son obtenidos por este puerto de comunicación serie.

La señal de voltaje es obtenida usando un transformador reductor. En el circuito integrado CS5460A el voltaje de entrada está limitado a $250\text{mV}_{\text{RMS}}$, por lo que es necesario implementar un circuito acondicionador de señal.

La señal de corriente es obtenida usando un sensor de corriente de efecto hall. Este canal cuenta con una entrada de ganancia programable, dependiendo de la ganancia del canal la entrada está limitada a 50mV_{RMS} (ganancia = 50) o $250\text{mV}_{\text{RMS}}$ (ganancia = 10). En esta aplicación, el canal de corriente es programado con una ganancia de 10 para un voltaje de entrada máximo de $250\text{mV}_{\text{RMS}}$.

Usando el voltaje y la corriente el circuito integrado CS5460A puede calcular el voltaje RMS, corriente RMS y la potencia instantánea. La potencia instantánea es integrada a velocidad de muestreo de 4000Hz para calcular la energía transferida. En este trabajo se programó para que cada 4000 muestras un nuevo valor RMS sea calculado. Las muestras son tomadas 4000 veces por segundo o 60 veces en un ciclo de 60Hz.

El circuito integrado CS5460A es programado para generar un pulso en el pin $\overline{EOUT}$ por cada 10Wseg. Cuando la energía acumulada excede los 10Wseg un pulso es generado en el pin $\overline{EOUT}$ y la energía acumulada es incrementada en 10Wseg. Estos pulsos son acumulados por el microcontrolador para almacenar la energía consumida.

4.4. Medición de la señal.

El CS5460A, esta diseñado para realizar mediciones instantáneas de voltaje, corriente y potencia, así como energía, voltaje rms y corriente rms. Estas mediciones las proporciona el circuito en formato de 24 bits con signo y/o sin signo, como un porcentaje de plena escala. Todas las mediciones inician cuando se aplica el comando de inicio de conversión. Al iniciar la conversión, los registros de energía y de valores rms son actualizados cada N conversiones, o ciclo computacional. Donde N es el valor contenido en el registro Cycle Count.

Después de que el ciclo computacional a terminado, el bit DRDY, en el registro STAUS y MASK es colocado. El pin INT puede activarse en caso de que el bit DRDY no se encuentra enmascarado.

	Energía	Vrms	Irms
Rango	1000:1	2:1	500:1
Error Máximo (después de la calibración)	0.1%	0.1 %	0.1%
Palabra de salida	24 bits		

Tabla 6. Especificaciones con MCLK de 4.096 MHz, K = 1 y N = 4000

La tabla 6 proporciona una descripción detallada de 1 error a la salida considerando MCLK de 4.096 MHz, K = 1 y N = 4000. El ciclo computacional es derivado del cristal conectado y la frecuencia esta dada por $(MCLK/K) / (1024*N)$, el cálculo instantáneo es realizado a 4000 Hz. En el caso de Irms, Vrms, y la energía es realizado a una velocidad de 1 Hz. También el bit DRDY es colocado solo después de que el ciclo de computación ha sido completado (No existe ninguna bandera para indicar cuando se ha realizado una lectura de la conversión instantánea, sin embargo, si el registro Cycle Count es colocado a 1, todos los cálculos de salida son instantáneos y el bit DRDY debe indicar cuando el calculo instantáneo ha finalizado.

4.4.1 Ciclo computacional único (C=0)

Basándose en la información proporcionada en el registro Cycle Count un solo ciclo computacional, es realizado después que el usuario envía el comando de ciclo de conversión único. Después de que el ciclo computacional a finalizado, el bit DRDY es colocado. Son necesarios 32 ciclos de reloj para obtener el resultado del cálculo. Los primeros 8 ciclos de reloj son utilizados para determinar cual registro de resultados va a ser leído.

Los siguientes 24 ciclos de reloj son necesarios para leer el resultado que se encuentra en el registro solicitado. Después de leer el dato, el puerto serie regresa al modo comando, el cual espera a que un nuevo comando sea solicitado.

4.4.2. Múltiples ciclos computacionales (C=1)

Basado en la información contenida en el registro Cycle Count, ciclos computacionales son ejecutados de manera continua en las señales de voltaje y corriente. No es posible Iniciar o Detener un ciclo computacional sobre un solo canal. Después de que cada ciclo computacional es finalizado, el bit DRDY es colocado. Son necesarios 32 ciclos de reloj para obtener el resultado del cálculo. Los primeros 8 ciclos de reloj son utilizados para determinar cual registro de resultados va a ser leído. Los siguientes 24 ciclos de reloj son necesarios para leer el resultado que se encuentra en el registro solicitado. Mientras se encuentra en este modo, el usuario puede elegir adquirir solo los datos necesarios para su aplicación o utilizar los flancos de bajada y de subida del bit DRDY para indicar la disponibilidad de un nuevo dato. Para calcular el rms, se requiere de una operación sinc antes de la operación de raíz cuadrada, Debido a esto, la primera operación para el cálculo de la rms, es invalida para cada canal (debido a esto, todos los cálculos son inválidos en la rutina de cálculo de un solo ciclo, y el primer dato rms del ciclo computacional continuo). Todos los cálculos de energía deben de ser validos debido a que para realizar el cálculo de la energía, no es necesaria la operación.

4.5. Filtros digitales de orden alto

El filtro de orden alto colocado en la entrada de voltaje, es implementado como un filtro fijo, compensado por un filtro FIR de baja longitud, cuando el convertidor es conectado a un reloj de 4.096 MHz ($K = 1$), el filtro tiene una respuesta en magnitud similar al de la siguiente figura 15.

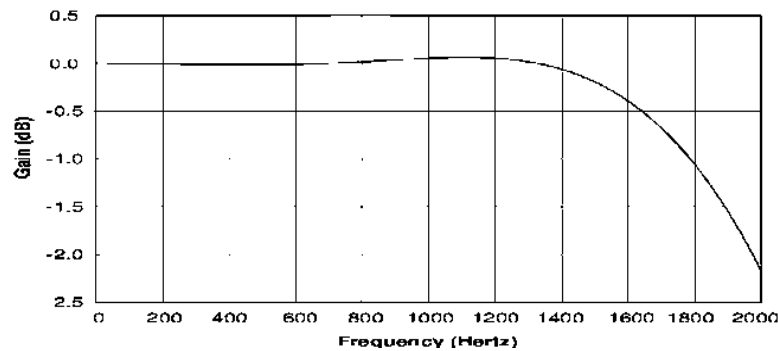


Figura 15. Grafica del filtro de voltaje en la entrada

Nota: La respuesta del filtro es dependiente a la frecuencia del cristal MCLK y K.

De manera similar el canal de entrada de corriente contiene un filtro compensado con un FIR de baja longitud con un reloj de 4.096 Mhz y $K = 1$, la respuesta del filtro se aprecia en la siguiente figura.

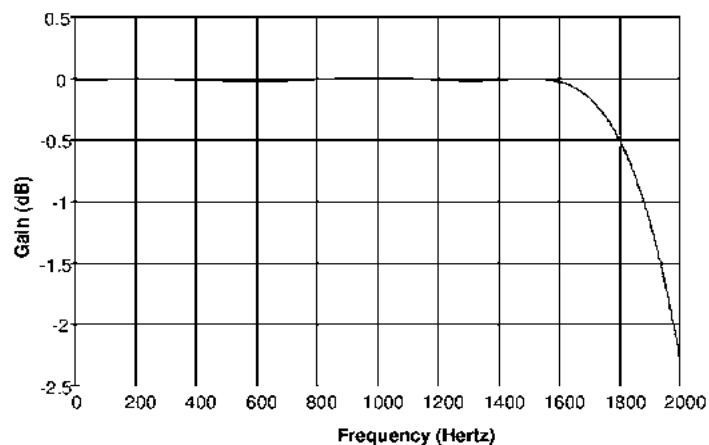


Figura 16. Grafica del filtro de corriente en la entrada

4.6. Velocidad de salida de pulsos

Como una alternativa a la lectura de energía real a través del puerto serie, los pines $\overline{EOUT}$ y $\overline{EDIR}$ proveen una interfaz simple con la cual la energía y su sentido pueden ser acumulados.

Cada pulso de $\overline{EOUT}$ representa una cantidad de energía predeterminado.

La cantidad de energía representada en un pulso, puede ser modificada ajustando el valor en el registro PULSE RATE.

Los pulsos correspondientes al pin $\overline{EDIR}$ representan la energía negativa. Observe que estos pulsos no son influenciados por el valor del registro CYCLE COUNT y no dependen del ciclo de computación descrito anteriormente.

Con un cristal de 4.096 MHz y K=1, los pulsos tendrán una frecuencia promedio (en hertz) igual a la frecuencia colocada en el registro PULSE RATE, cuando la lectura en los registros de voltaje y corriente instantánea de las señales de entrada se van a plena escala.

Ejemplo de la configuración del registro PULSE RATE:

Para una línea de energía de un máximo de 250 Volts y 20 Amp, la relación de pulso-frecuencia del pin $\overline{EOUT}$ necesita estar a 100 pulsos/segundo (100 Hz) cuando los niveles de voltaje RMS y corriente RMS sean de 220 Volts y 15 Amp respectivamente. Para cumplir con estos requerimientos, la relación de frecuencia de los pulsos ('PR') en el registro PULSE RATE debe ser colocada correspondientemente.

Después de la calibración, el primer paso para obtener el valor de 'PR' es colocar las constantes Kv y Ki que representan las ganancias de los sensores de voltaje y corriente hasta el punto de tener niveles de voltaje adecuados en las terminales de entrada del CS5460A cuando el voltaje y corriente de línea están a un máximo de 250 Volts y 20 Amp. Kv y Ki son necesarias para determinar la relación de transformación de los transformadores de voltaje o el shunt de corriente.

Para una señal senoidal, el valor RMS máximo que puede ser medido adecuadamente es de 0.7071 de la máxima entrada de corriente directa.

Debido a que las señales de la línea no son frecuentemente senoidales perfectas en situaciones del mundo real y proporcionan algunos sobrerangos, los valores de los registros de Voltaje RMS y Corriente RMS son colocados para medir el 60% cuando los valores RMS de la línea de Voltaje y Corriente son de 250 Volts y 20 Amp.

Por esto cuando los registros RMS miden 0.6 el nivel de voltaje en las entradas deben ser:

$$0.6 * 250 \text{ mV} = 150 \text{ mV}$$

Las constantes de las ganancias de los sensores Kv y Ki son determinadas por la exigencia de los canales de entrada de corriente y voltaje que deben ser de 150 mV RMS cuando la línea de energía de voltaje y corriente se encuentre a los valores máximos de 250 V y 20 A.

$$Kv = \frac{150 \text{ mV}}{250 \text{ V}} = 0.0006$$

$$Ki = \frac{150 \text{ mV}}{20 \text{ Amp}} = 0.0075 \Omega$$

Las constantes de ganancia de estos sensores son utilizadas para calcular que niveles de voltaje de entrada deben colocarse a la entrada del CS5460A, cuando la línea de voltaje y la línea de corriente son de 220 V y 15 Amp. Estos valores conocidos como V_{Vnom} y V_{Inom} .

$$V_{Vnom} = Kv * 220 = 132 \text{ mV}$$

$$V_{Inom} = Ki * 15 \text{ Amp} = 112.5 \text{ mV}$$

Las velocidades de pulsos en $\overline{EOUT}$ deben colocarse en 'PR' pulsos por segundo (Hz) cuando los niveles RMS de voltaje y corriente son de 250 mV.

Cuando las entradas de corriente y voltaje son colocadas a V_{Vnom} y V_{Inom} las velocidades de pulsos necesaria para tener una 'IR' =100pulsos por segundo, por esto IR debe ser algún porcentaje de PR. El porcentaje es definido por la relación $\frac{V_{Vnom}}{250\text{ mV}}$ y $\frac{V_{Inom}}{250\text{ mV}}$ con la siguiente ecuación

$$PULSE\ RATE = IR = PR * \frac{V_{Vnom}}{250\text{ mV}} * \frac{V_{Inom}}{250\text{ mV}}$$

de esta ecuación el valor de PR es obtenido como

$$PR = \frac{IR}{\frac{V_{Vnom}}{250\text{ mV}} * \frac{V_{Inom}}{250\text{ mV}}} = \frac{100\text{ Hz}}{\frac{132\text{ mV}}{250\text{ mV}} * \frac{112.5\text{ mV}}{250\text{ mV}}} = 420.875\text{ Hz } \text{ ó } 0x00349C$$

El valor 0x00349C para el registro Pulse Rate se obtiene de la siguiente manera.

MSB									LSB							
2^{18}	2^{17}	2^{16}	2^{15}	2^{14}	2^{13}	2^{12}	2^{11}		2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	

MSB

LSB

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0
 0 0 3 4 9 C

Ejemplo 2:

Ahora se requiere especificar un número de pulsos por unidad de energía, de manera que existan 500 pulsos/Kw-hora en la salida $\overline{EOUT}$. Considerando la misma línea de energía de entrada 250 V (RMS) y una máxima corriente de 20 Amp (RMS). Como se planteo en el ejemplo anterior, los voltajes y corrientes nominales no determinan el ajuste apropiado de las velocidades de pulsos. En lugar de esto se consideran los niveles máximos de línea, de manera similar el voltaje de línea y la corriente máxima son utilizados para determinar Kv y Ki.

$$Kv = \frac{150\text{ mV}}{250\text{ V}} = 0.0006$$

$$Ki = \frac{150\text{ mV}}{20\text{ A}} = 0.0075\ \Omega$$

Otra vez la ganancia de los sensores es calculada con máximo voltaje de línea y corriente de línea y se mide como el 60% en el registro de voltaje y corriente RMS.

Así el valor del registro PULSE RATE es colocado ahora utilizando la siguiente ecuación

$$PR = \frac{500 \text{ pulsos}}{Kw.hr} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} * \frac{1 \text{ Kw}}{1000 \text{ W}} * \frac{250 \text{ mV}}{Kv} * \frac{250 \text{ mV}}{Ki}$$

Así PR $\approx$ 1.929 Hz $\approx$ 0 x 00003E

Al igual que en ejemplo anterior se pasa este resultado al valor del registro Pulse Rate

MSB											LSB				
2^{18}	2^{17}	2^{16}	2^{15}	2^{14}	2^{13}	2^{12}	2^{11}		2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}

MSB

LSB

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 3 E

4.7. El Puerto Serial SPI del CS5460A.

El CS5460 integra un puerto serial operado por una máquina de estados con buffers de transmisión recepción. La máquina de estados interpreta comandos de 8 bits de longitud, los datos son validos en el flanco de subida de la señal de reloj (SCLK). Para la decodificación del comando enviado, la máquina de estados realiza la solicitud del comando o se prepara para la transferencia de los datos del registro solicitado. En la solicitud de lectura de un registro, se requiere de la transferencia al buffer de transmisión. En tanto que la escritura a un registro, espera a que los 24 ciclos de reloj se completen antes

de iniciar la transferencia. Todos los registros tienen una longitud de 24 bits. La figura 17 muestra los registros internos disponibles para el usuario.

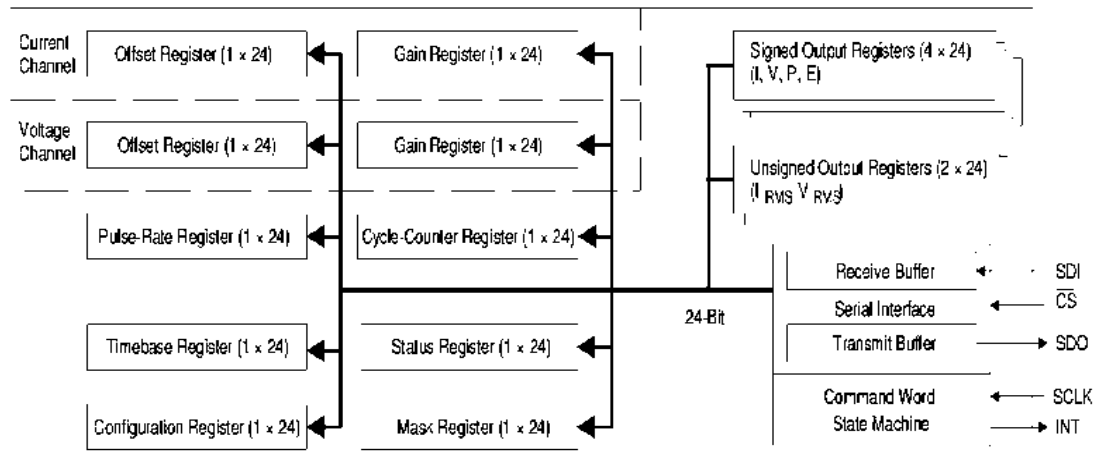


Figura 17. Diagrama de registros del CS5460A

Después de la inicialización del chip o de la aplicación de un reset, la máquina de estado del puerto serial se inicializa en el modo de comando (es decir espera los primero 8 bits y los toma como un comando). Acerca de la recepción y decodificación de un comando valido, la máquina de estado le instruye a ejecutar una operación del sistema o la transferencia de datos de o hacia un registro interno. La sección de decodificación de comando es utilizada para decodificar todos los comandos validos.

La máquina de estados decodifica el comando recibido. El puerto serie se coloca en modo de transferencia de datos, en caso de que el primer bit del comando (MSB) sea cero. Un comando de escritura requiere de 24 bits de datos posteriores al envío del comando. Por ejemplo, para escribir al registro de configuración, el usuario debe transmitir el comando (0x40) para inicializar la escritura. Entonces el chip debe de adquirir el dato serial a través del pin de entrada serie, esperando los 24 flancos de subida de la señal de reloj. Una vez que los datos se recibieron, la máquina de estados debe escribir el dato al registro de configuración y regresar al modo de comando. Los comandos pueden dar la instrucción de que la lectura del registro, puede ser terminado en bloques de 8 bits. (8,16 o 24 bits). También la lectura de los registros de datos permite comandos de “encadenamiento”. Por

ejemplo un comando le dice a la máquina de estados que se realizará una lectura a un registro con signo.

Después que el usuario introduce los primeros 16 bits para la lectura de los datos, un comando de escritura (como puede ser una escritura al registro STATUS para limpiarlo). Puede ser enviado al mismo tiempo que se envían los últimos 8 bits de la solicitud de lectura.

4.7.1. La interfaz del puerto serie

El puerto serie del CS5460A es un puerto Serie Síncrono que esta compuesta de 4 líneas $\overline{CS}$, SDI, SDO y SCLK.

La línea $\overline{CS}$, es la línea de control que habilita el acceso al puerto serial. Si la línea CS es colocada a tierra (0 lógico), el puerto puede funcionar como un puerto serial de 3 líneas.

La línea SDI, es la línea serial de datos de entrada y es utilizada para realizar las transferencias de datos hacia el circuito CS5460A.

La línea SDO, es la línea serie de los datos de salida, es utilizada para realizar la transferencia de datos del CS5460A hacia el exterior. La salida SDO debe permanecer en alta impedancia mientras la línea de $\overline{CS}$, se encuentra en uno lógico. La figura 18 muestra la secuencia necesaria para escribir a o leer del CS5460A.

La línea SCLK, es la línea de reloj del puerto serie y controla el flujo de bits hacia o desde el CS5460A, la línea $\overline{CS}$, debe de permanecer en bajo (0 lógico) antes de que las transiciones sean reconocidas. La línea de salida del CS5460A está diseñada para la conexión directa a optoacopladores y las líneas de entrada cuentan con entradas tipo disparador schmitt para evitar ruidos o falsos disparos.

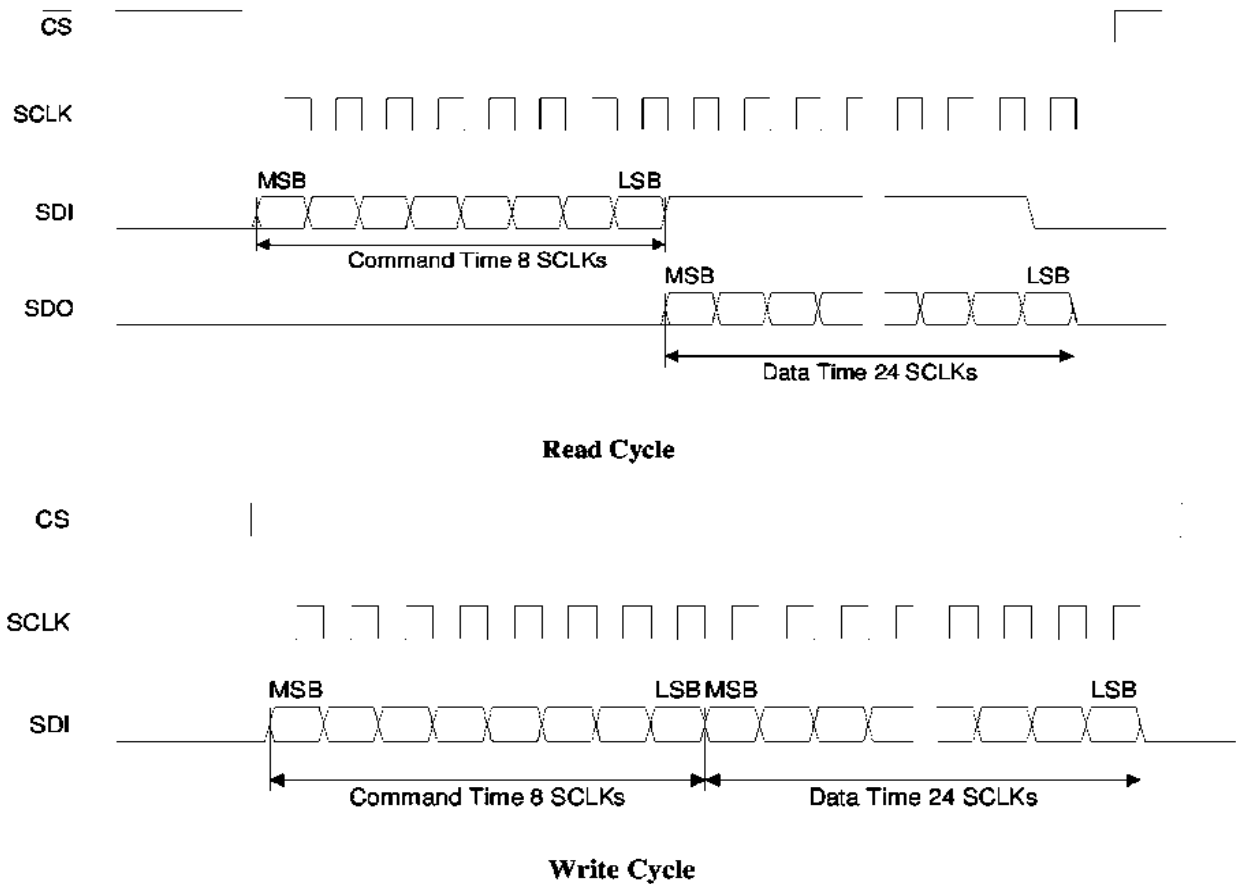


Figura 18. Secuencia para escribir a o leer del CS5460A

De acuerdo a la figura 18, la transferencia de datos inicia al enviar de manera adecuada el comando e iniciando con el bit mas significativo (MSB) hacia el CS5460A. Es importante hacer notar que algunos comandos utilizan información de los registros Cycle Count y Register para ejecutar la función. **Nota: “Para la ejecución de estos comandos, es importante que la información adecuada sea escrita de manera ANTICIPADA a estos registros”.**

Cuando un comando involucra una operación de escritura, el puerto serie continua recibiendo bits a través de la línea SDI iniciando por el más significativo y por los siguientes 24 ciclos de reloj de la línea SCLK. Cuando un comando de lectura es iniciado, el puerto serie inicia la transferencia del contenido del registro utilizando el pin SDO y con el bit MSB, por los siguientes 8, 16 o 24 ciclos de reloj de SCLK, el número de bits de salida depende del comando que fue enviado al CS5460A. Es posible que el microcontrolador que se encuentra conectado al CS5460A envíe un nuevo comando

mientras se esta realizando la lectura de un registro de datos. El nuevo comando se ejecutará de manera inmediata y se interrumpirá el proceso de lectura anterior. Durante el ciclo de lectura el comando SYNC0 o NOP debe ser enviado al CS5460A mientras se están enviando los pulsos de reloj.

4.8. Comandos (solo escritura)

Todos los comandos son de 1 byte de longitud (8 bits), los comandos que escriben o modifican un registro, colocan 3 bytes en el buffer, los cuales posteriormente se escriben al registro correspondiente.

4.8.1. Comando “Start Conversion”..

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	1	1	0	C	0	0	0

C define el modo de conversión

C = 0 Ejecuta un solo ciclo de calculo

C = 1 Ejecuta ciclos de calculo de manera continua.

4.8.2. Comando “SYNC0”

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	1	1	1	1	1	1	0

Este comando es el final de la secuencia de inicialización del puerto serial. Este comando puede ser usado como un comando NOP. El puerto serie es re sincronizado para definir los límites de los comandos al enviar una secuencia de 3 bytes SYNC1 y finalizando con el comando SYNC0

4.8.3. Comando “SYNC1”

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	1	1	1	1	1	1	1

Este comando es parte de la secuencia inicialización del puerto serial, este comando puede servir como un comando NOP, pero no más de 3 comandos SYNC1 deben de ser enviados de manera consecutiva.

4.8.4. Comando “PowerUp/Halt control”

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	0	1	0	0	0	0	0

Si el dispositivo es colocado en modo “PowerDown”, este comando colocara al dispositivo en modo “PowerUP”, cuando se energiza el chip, este no realiza ningún ciclo computacional. Si el circuito se encuentra actualmente energizado.

4.8.5. Comando “PowerDown” control

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	0	0	S1	S0	0	0	0

Este dispositivo tiene 2 modos de operación “PowerDown” para conservar energía, si el circuito se coloca en modo “standby”, todos los sistemas se apagan, excepto el generador de reloj.

S1	S0	Modo “PowerDown”.
0	0	Reservado.
0	1	Se detiene y entra al modo standby. Este modo permite un retorno rápido al modo “power-up”.
1	0	Se detiene y entra al modo sleep, este modo requiere de un tiempo mas grande para pasar a modo power-up.
1	1	Reservado.

4.8.6. Comando “Calibration control”

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	1	0	CV	CI	0	GC	OC

El dispositivo tiene la capacidad de realizar una calibración de offset y de ganancia. El usuario debe proporcionar las entradas adecuadas al dispositivo antes de iniciar con el proceso de calibración.

CV	CI	Designa el canal de calibración
0	0	No permitido
0	1	Calibra el canal de corriente
1	0	Calibra el canal de voltaje
1	1	Calibra los canales de voltaje y de corriente de manera simultanea

bit GC.Designa la calibración de la ganancia.

GC = 0 Operación normal

GC = 1 Realiza la calibración de la ganancia

bit OC.Designa la calibración de offset

OC = 0 Operación normal

OC = 1 Realiza la calibración de offset

4.8.7. Comando “Read/Write register”

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
0	W/R	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	0

Este comando informa a la máquina de estados cual es el registro al que se desea acceder. En las lecturas, el registro direccionado es cargado dentro del buffer de salida y se envía al exterior utilizando la línea de reloj SCLK. En la escritura, el dato es introducido al buffer de entrada y transferido al registro seleccionado.

W/R bit de control de Escritura/Lectura

W/R = 0 Lectura del registro

W/R = 1 Escritura del registro

Dirección RA4 – RA0	Nombre	Descripción
00000	Config	Registro de configuración
00001	Ioff	Calibración del offset de la corriente
00010	Ign	Calibración de la ganancia de corriente
00011	Voff	Calibración del offset del voltaje
00100	Vgn	Calibración de la ganancia de voltaje
00101	Cycle Count	Numero de conversiones para la integración
00110	Pulse-Rate	Calibrar/escalar la salida de frecuencia de la energía
00111	I	El último valor de la corriente
01000	V	El último valor del voltaje
01001	P	El último valor de la potencia
01010	E	Valor de la energía total del último ciclo
01011	Irms	Valor de corriente rms del último ciclo
01100	Vrms	Valor de voltaje rms del último ciclo
01101	TBC	Calibración del tiempo base
01110	Test	Uso Interno (No debe se escrito)
01111	Status	Registro de estado
10000	Res	Reservado
10111	Res	Reservado
11000	Test	Uso interno (No debe ser escrito)
11001	Test	Uso interno (No debe ser escrito)

11010	Mask	Registro de mascara de interrupción
11011	Test	Uso interno (No debe ser escrito)
11111	Test	Uso interno (No debe ser escrito)

4.9. Inicialización del puerto serie.

En el momento del reset, la conexión de la fuente o de la finalización de la secuencia de sincronización del puerto serie, este es inicializado en modo comando. La secuencia de inicialización del puerto consiste en enviar 3 comandos de SYNC1 (0xFF) seguido del comando SYNC0 (0xFE). Esta secuencia coloca al chip en modo de espera de comando hasta que un comando valido es recibido.

4.10. Inicialización del sistema.

La aplicación de un reset de hardware o software puede ser realizada en cualquier momento.

Reset por Software:

El reset de software es iniciado al escribir un “1” lógico en el bit RS(Reset system) en el registro Config, este bit automáticamente regresa a “0” lógico después del reset. Al final del ciclo de reloj número 32 (8 bits de comando + 24 bits de datos), la sincronización interna retrasa, la “escritura” al registro de configuración por 3 o 4 ciclos DCLK (MCLK/K), hasta entonces el circuito de reset inicia la rutina de reset en el primer flanco de bajada de la señal de MCLK.

El reset de Hardware se inicia cuando el pin reset se forza a “0” lógico con un pulso mínimo de 50 nSeg. Debido a que la señal de reset es asíncrona, no se requiere de alguna referencia con la señal MCLK. Una vez que el pin reset es colocado en “1” lógico, el circuito interno de reset permanece activo por 5 ciclos de la señal MCLK para asegurarse de resetear de manera correcta al CS5460A. Los moduladores permanecen en el modo reset por 12 ciclos MCLK después que la línea de reset de desactiva.

4.11. Valores Iniciales de los Registros.

Los valores de los registros internos (algunos de los cuales activan pines de salida) van a su estado predefinido en el reset en el primer ciclo de MCLK después de detectar un evento de reset. Después del reset, los registros internos son inicializados con los siguientes valores

Registro	Valor en el reset
Configuration Register:	0x000001
Offset Register:	0x000000
Gain Registers	0x400000
Pulse-Rate Register:	0x0FA000
Cycle-Counter Register:	0x000FA0
Timebase Register:	0x800000
Status Register:	0x000001
Mask Register	0x000000
Signed Registers	0x000000
Unsigned Registers	0x000000

Tabla 7. Valores iniciales

4.12. Descripción de los Registros

4.12.1. Registro de configuración

Dirección: 0x00

23	22	21	20	19	18	17	16
PC3	PC2	PC1	PC0	0	0	0	Gi
15	14	13	12	11	10	9	8
EWA	PH1	PH0	SI1	SI0	EOD	DL1	DLO
7	6	5	4	3	2	1	0
RS	VHPF	IHPF	iCPU	K3	K2	K1	K0

K[3:0]	Divisor del reloj 0001 = divide por 1 (valor preestablecido) 0010 = divide por 2 0100 = divide por 4
iCPU	Invierte el reloj CPUCLK 0 = Operación Normal (preestablecido) 1 = minimiza el ruido
IHPF	Controla el uso del filtro pasa altas en el canal de corriente 0 = Filtro desactivado 1 = Filtro activado
VHPF	Controla el uso del filtro pasa altas en el canal de voltaje 0 = Filtro desactivado 1 = Filtro activado
RS	Inicia un ciclo de reseteo cuando adquiere un 1.
DLO	Con EOD = 1, EDIR es un pin definido. Valor = 0
DL1	Con EOD = 1, EOUI es un pin definido. Valor = 0
EOD	Permite que EOUI y EDIR sean controlados por DLO y DL1. 0 = Operación Normal (Preestablecido) 1 = DLO y DL1 controlan los pines EOUI y EDIR

SI[1:0]	Configuración de la interrupción 00 = Activa nivel bajo (preestablecido) 01 = Activa nivel alto 10 = En bajadas 11 = En subidas
Res	Reservado. Valor = 0
EWA	Permite a los pines EOOUT y EDIR conectarse a múltiples chips 0 = Salida Normal (Preestablecido) 1 = solamente esta activado el dispositivo pull-down
Gi	Establece la ganancia 0 = ganancia es 10 (Preestablecido) 1 = ganancia es 50
PC[6:0]	Compensación de fase Valor = 0000000 (cuando el MCLK = 4.096 MHz)

4.12.2. Registro de compensación de CD del canal de Voltaje y Corriente

Dirección: 0x01 (Registro de Compensación de CD de Corriente)
0x03 (Registro de Compensación de CD de Voltaje)

MSB															LSB
2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7		2^{17}	2^{18}	2^{19}	2^{20}	2^{21}	2^{22}	2^{23}

Default = 0.000

Los registros de compensación de CD son inicializados en cero con un reset, permitiendo al dispositivo funcionar y realizar mediciones

4.12.3. Registro de Ganancias del canal de Voltaje y Corriente

Dirección: 0x02 (Registro de Ganancia de Corriente)
0x04 (Registro de Ganancia de Voltaje)

MSB															LSB
2^1	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6		2^{16}	2^{17}	2^{18}	2^{19}	2^{20}	2^{21}	2^{22}

Default = 1.000

Los registros de Ganancia son inicializados en 1 al aplicar un reset, permitiendo al dispositivo funcionar y realizar mediciones

4.12.4. Registro Cycle Count

Dirección: 0x05

MSB									LSB							
2^{23}	2^{22}	2^{21}	2^{20}	2^{19}	2^{18}	2^{17}	2^{16}		2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	

Default = 4000

El valor del registro Cycle Count especifica el número de ciclos de conversiones A/D por cada ciclo calculado

4.12.5. Registro Pulse Rate

Dirección: 0x06

MSB									LSB							
2^{18}	2^{17}	2^{16}	2^{15}	2^{14}	2^{13}	2^{12}	2^{11}		2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	

Default = 32000.00Hz

El registro Pulse Rate determina la frecuencia del tren de pulsos de salida en el pin EOUT

4.12.6. Registro de los resultados con signo de I, V, P, E

Dirección: 0x07 – 0x0A

MSB									LSB							
$\{2^0\}$	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	2^{-6}	2^{-7}		2^{-17}	2^{-18}	2^{-19}	2^{-20}	2^{-21}	2^{-22}	2^{-23}	

Estos registros con signo contienen los últimos valores medidos de I, V, P y E

4.12.7. Registro de los resultados sin signo de I_{RMS} y V_{RMS}

Dirección: 0x0B – 0x0C

MSB									LSB							
2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	2^{-6}	2^{-7}	2^{-8}		2^{-18}	2^{-19}	2^{-20}	2^{-21}	2^{-22}	2^{-23}	2^{-24}	

Estos registros sin signo contienen los últimos valores calculados de I_{RMS} y V_{RMS} .

4.12.8. Registro de compensación de Angulo de Fase.

Dirección: 0x0E

MSB								LSB							
2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7		2^{17}	2^{18}	2^{19}	2^{20}	2^{21}	2^{22}	2^{23}

Default = 0.000

Este valor de compensación es añadido o restado a cada valor que es calculado.

4.12.9. Registro Status y Registro Mascara

Dirección: 0x0F (Registro Status)
0x1A (Registro Mascara)

23	22	21	20	19	18	17	16
DRDY	EOUT	EDIR	Res	MATH	Res	IOR	VOR
15	14	13	12	11	10	9	8
PWOR	IROR	VROR	EOR	EOOR	Res	Res	Res
7	6	5	4	3	2	1	0
Res	Res	WDT	VOD	IOD	LSD	0	IC

Default = Binario 0000000000000000xxxx000001 Registro Status (x = el estado depende de la revisión del equipo)

Binario 0000000000000000000000000000 Registro Mascara

El registro Status indica el estado del chip. En operación Normal se escribe un “1”

El registro Mascara es usado para activar el control del pin INT

IC Comando Invalido, Estado normal “1”, Comando Invalido “0”.

LSD Detección de bajo voltaje. El voltaje no puede ser menor 2.3 V.

IOD Detección de una oscilación modular en el canal de corriente.

VOD Detección de una oscilación modular en el canal de voltaje.

WDT Watch-Dog Timer.

ID3:0 Identificación de versión.

EOOR	El registro interno EOUT esta fuera de rango.
EOR	Energía fuera de rango.
VROR	Voltaje RMS fuera de rango.
IROR	Corriente RMS fuera de rango.
PWOR	Potencia calculada fuera de rango.
VOR	Voltaje fuera de rango.
IOR	Corriente fuera de rango.
MATH	Indica que una división esta fuera de rango.
CRDY	Conversión lista.
EDIR	Activo cuando la energía acumulada es negativa.
EOUT	Indica que suficiente energía positiva o negativa a sido transferida al registro interno EOUT.
DRDY	Dato listo.

4.12.10. Registro de Control

Dirección: 28

23	22	21	20	19	18	17	16
Res	Res	Res	Res	Res	Res	Res	Res
15	14	13	12	11	10	9	8
Res	Res	Res	Res	Res	Res	Res	STOP
7	6	5	4	3	2	1	0
Res	MECH	Res	INTL	SYNC	NOCPU	NOOSC	STEP

Default = 0x000000

STOP 1 = usado para terminar la nueva secuencia EEBOOT.

RES Reservado, siempre debe ser cero.

MECH	1 = usado para contadores mecánicos.
INTL	1 = convierte la salida INT en una salida abierta.
SYNC	1 = forza el convertidor interno A/D a sincronizarse con una inicialización de un comando de conversión.
NOCPU	1 = convierte la salida CPUCLK a un puerto de salida.
NOOSC	1 = almacena energía deshabilitando el cristal.
STEP	1 = activa las señales de stepper-motors en los pines EOUT/EDIR.

CAPÍTULO 5. SISTEMA DESARROLLADO

5.1. Introducción

En este capítulo se integran todos los sistemas para la construcción y desarrollo del medidor de variables eléctricas con acceso inalámbrico. Se vera cómo conectar el microcontrolador para llevar a cabo el control de la operación del circuito integrado CS5460A para la medición de señales eléctricas, los sensores de corriente y voltaje, así como el acondicionamiento de señal, la interfaz con el microcontrolador, la conexión del display LCD, el modulo de comunicación Xbee así como la fuente de voltaje necesaria.

5.2. Hardware

En la figura 19 se muestra un diagrama de bloques de la implementación del sistema. Durante la operación normal, el sensor de voltaje y corriente proporcionan al circuito integrado CS5460A las señales de voltaje y corriente, estas señales pasan por una etapa de acondicionamiento para otorgar al circuito integrado CS5460A los voltajes adecuados para su correcto desempeño, El circuito integrado CS5460A realiza la integración de la energía a través de un tren de pulsos el cual es proporcional a la energía transferida. El tren de pulso es capturado por un contador asíncrono del timer1, el microcontrolador acumula los pulsos y los almacena en una memoria EEPROM. Para la medición de voltaje RMS, corriente RMS, se leen los registros de datos de este circuito integrado, además controla el LCD para presentar los valores de las mediciones y la transmisión inalámbrica de los datos obtenidos utilizando un modulo Xbee.

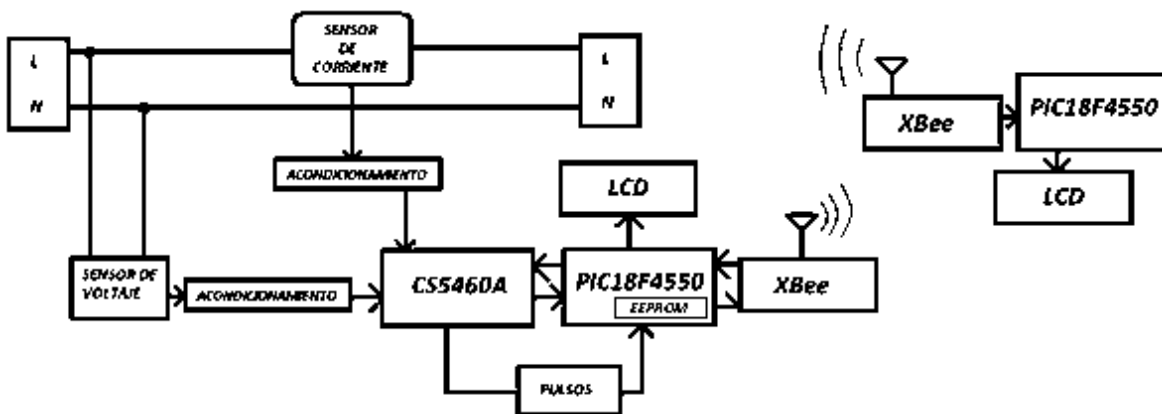
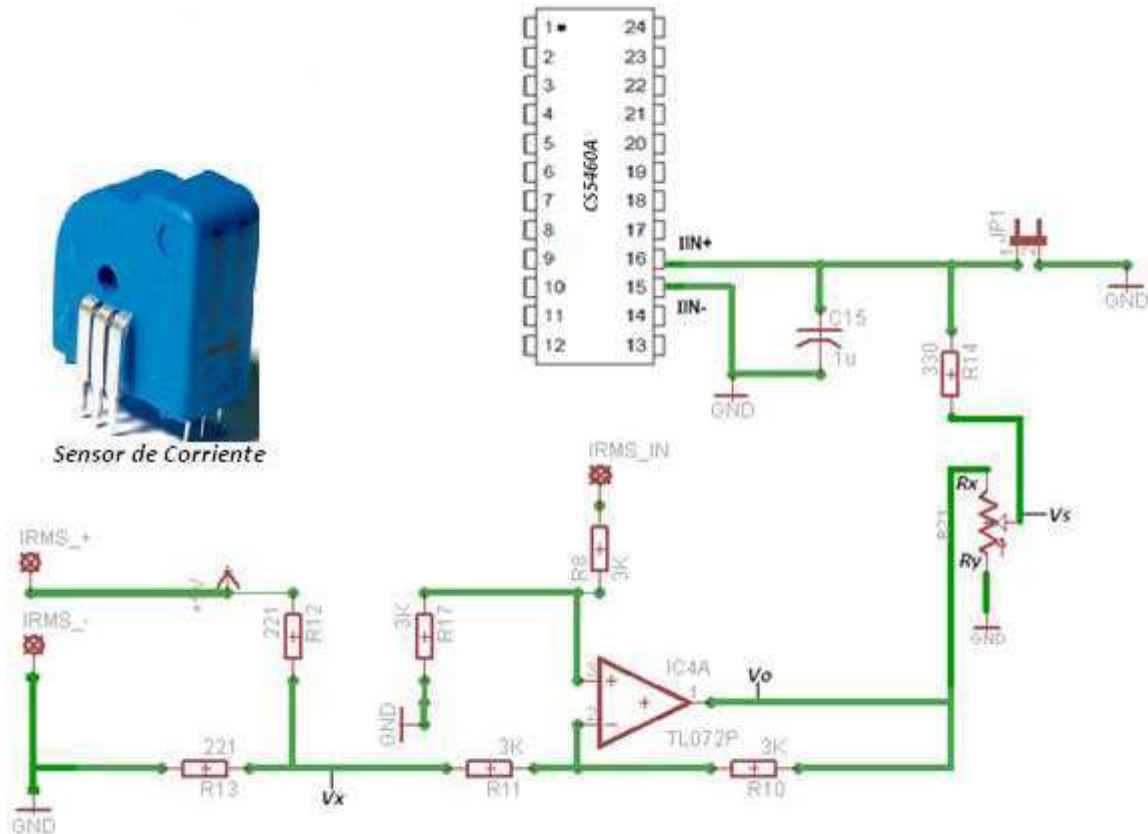


Figura 19. Diagrama de Bloques.

[illegible]

U = 6, $\alpha = 1.5$, $N = 10$, $\beta = 0.01$, $\gamma = 0.01$, $\delta = 1$, $\epsilon = 1$, $\zeta = 1$, $\eta = 1$.

La Fuente de 2.2 Vdc proporciona el voltaje necesario para el módulo de



Para poder obtener los voltajes deseados en las diferentes etapas del sensor de corriente se realizaron los siguientes cálculos:

Divisor de voltaje.

$$V_x = \left(\frac{220}{440} \right) * 5 = 2.5 \text{ Volts}$$

Voltaje de salida del amplificador operacional.

$$V_o = V_{in_{rms}} - V_x$$

$$V_o = 2.5 + Corriente - 2.5$$

$$V_o = Corriente$$

Voltaje de salida del potenciómetro o voltaje de la señal.

$$V_s = \left(\frac{R_y}{R_x + R_y} \right) Corriente$$

$$V_s = \left(\frac{R_y}{5K\Omega} \right) Corriente$$

$$V_s = 150\text{mV}$$

$$R_y = \frac{150\text{mV}}{Corriente} * 5K\Omega$$

Nota: El capacitor usado es recomendado por el fabricante.

5.2.3. Sensor de voltaje

Para medir el voltaje de la línea se utiliza un transformador reductor de 127/6 V con tap central, solo se usa la conexión entre una terminal y el tap central para obtener solo 3.0 V_{RMS}, además se colocó un divisor de tensión con un potenciómetro para realizar ajustes en el voltaje de entrada al circuito integrado CS5460A, al final de la etapa también se colocó un jumper para realizar ajustes y calibraciones del circuito anteriormente descrito a un valor inicial de 0 volts. Se colocaron capacitores de acoplo en las entradas al circuito integrado CS5460A para estabilizar las señales y limitar las variaciones por posibles ruidos.

Para el cálculo del divisor de tensión se realizaron las siguientes consideraciones:

$$V_{\text{max}} = 250 \text{ mV}$$

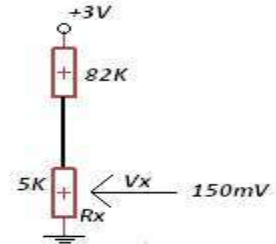
V_{nominal} a 127 Volts = $150\text{mV}_{\text{RMS}}$, para tener esta igualdad es necesario ajustar para $127\text{Volts} = 150\text{mV}$, de la relación de transformación $127/3\text{Volts}$ (por el tap central).

$$V_x = \left(\frac{R_x}{82 + 5K\Omega} \right) 3 ; V_x = 150\text{mV}$$

Sustituyendo

$$150\text{mV} = \left(\frac{R_x}{82 + 5K\Omega} \right) 3 ;$$

$$R_x = \frac{150\text{mV}(82 * 5K\Omega)}{3} = 4.35 K\Omega$$



Por lo tanto el valor al que se debe ajustar el potenciómetro es de $4.35 K\Omega$ para obtener 150mV @ 127 Volts de entrada.

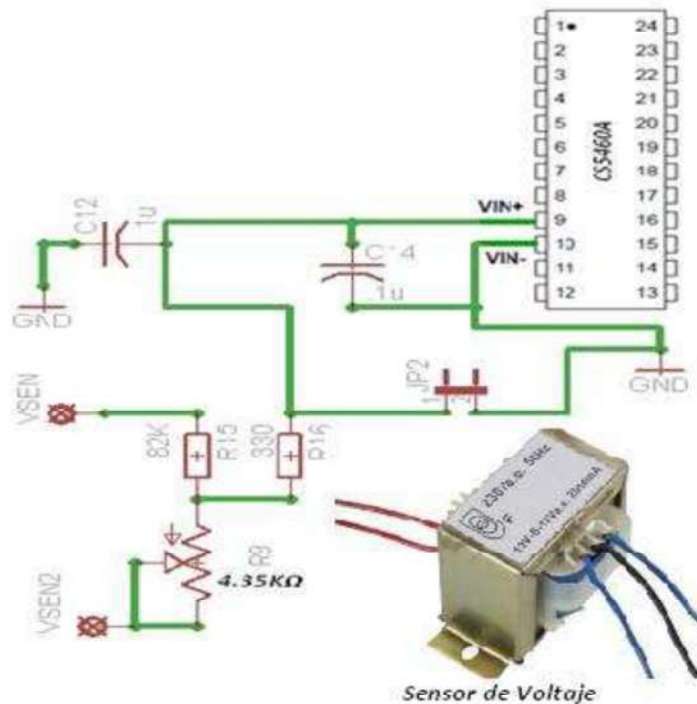


Figura 22. Circuito esquemático del circuito acondicionador del sensor de voltaje

Nota: Las resistencias de 330Ω y los capacitores son recomendados por el fabricante.

5.2.4. Conexiones mínimas para la operación del microcontrolador PIC18F4550

Las conexiones básicas necesarias para la operación del microcontrolador conectado al circuito integrado CS5460A son sencillas ya que solo se necesita la alimentación de +5V y su tierra conectadas en los pines adecuados, requiere de su botón de Reset, de un cristal para su correcta operación de oscilación (8MHz) y su puerto de depuración/programación.

La frecuencia de operación del cristal se eligió de 8MHz para utilizar el multiplicador y operar a una frecuencia de 48MHz, permitiendo el máximo desempeño del microcontrolador.

El puerto de depuración permite realizar operaciones de programación y de depuración en el propio sistema mínimo en tiempo real.

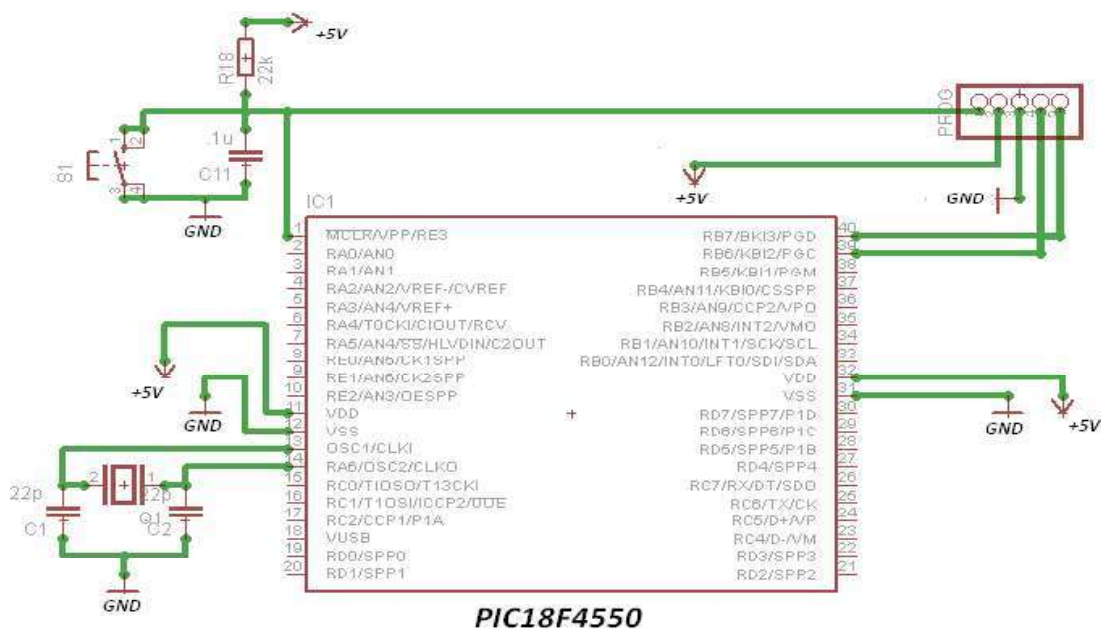


Figura 23. Conexiones del microcontrolador PIC18F4550

Nota: Los valores de los capacitores y resistencias utilizadas son los recomendados por el fabricante.

Las conexiones necesarias o básicas para el funcionamiento del Circuito Integrado CS5460A son las mostradas en la figura 24 en las cuales se encuentran las conexiones para el pin $\overline{RESET}$, los voltajes de entrada y salida y el cristal de 4.096MHz que es el necesario para la correcta frecuencia de operacion, esta frecuencia del cristal es critica ya que es la base para la integración de la señal.

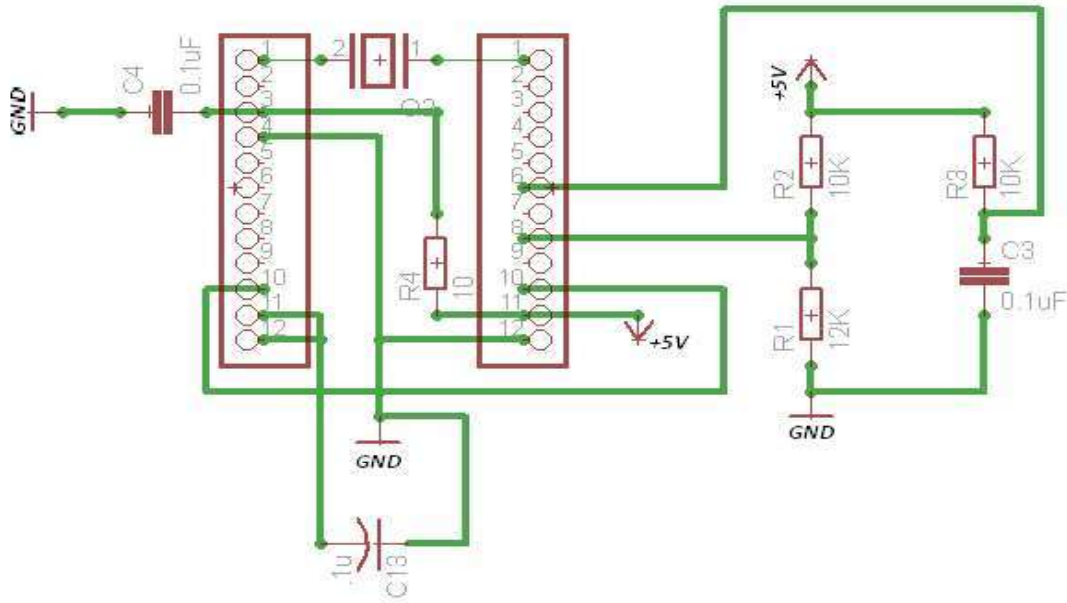


Figura 24. Conexiones Circuito Integrado CS5460A

El divisor elaborado por R1 y R2, proporciona un voltaje que le indica al circuito que la fuente de alimentación esta operando adecuadamente. El voltaje de operación es de:

$$V_o = \left(\frac{12}{12 + 10} \right) * 5 = \left(\frac{12}{22} \right) * 5$$

$$V_o = \frac{60}{22} \approx 2.7 \text{ Volts}$$

Nota: Voltajes Inferiores a 2.5 Volts en la terminal de monitoreo se consideran como falla en la fuente.

5.2.5. Conexiones del microcontrolador PIC18F4550 con el circuito integrado CS5460A.

El microcontrolador PIC18F4550 se comunica con el CS5460A usando el puerto de comunicación SPI (el cual consiste en 4 líneas SDI, SDO, SCLK, $\overline{CS}$) para realizar la comunicación con el circuito integrado CS5460A y transmitir los comandos, los datos de calibración, las lecturas y cálculos realizados.

El microcontrolador también realiza el conteo de los pulsos de energía que salen del pin $\overline{EOUT}$, la cuenta de los pulsos es realizada utilizando el contador Timer1 en modo contador asíncrono. Debido a problemas con el puerto SPI, se programo un puerto SPI por software utilizando el puerto D del microcontrolador.

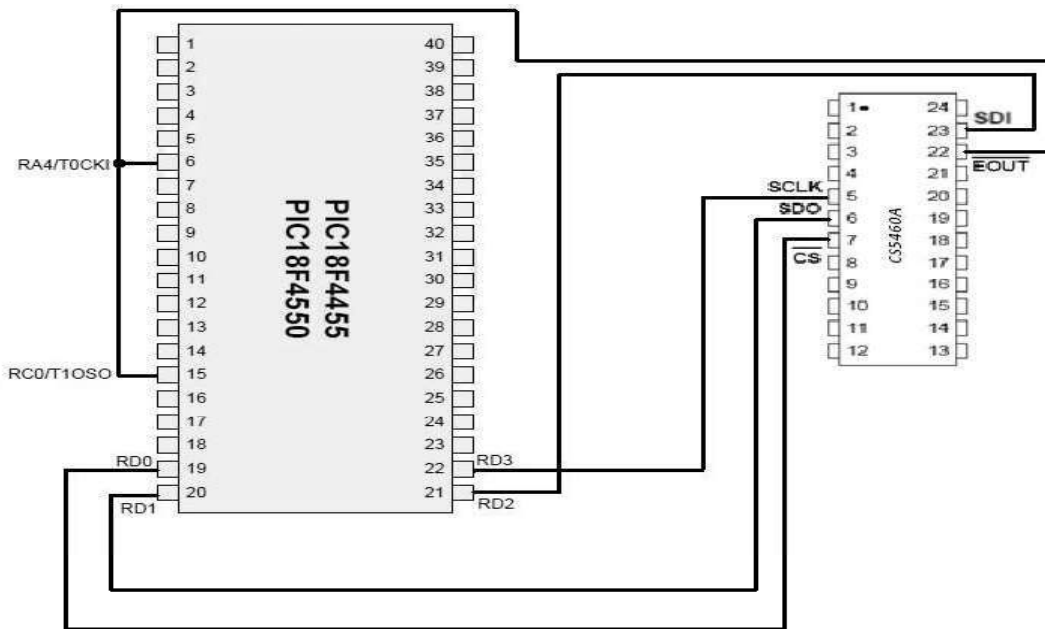


Figura 25. Conexiones microcontrolador PIC18F4550 con el circuito integrado CS5460A

Nota: Debido a que el voltaje de alimentación del microcontrolador y del CS5460A es de 5 Volts, no es necesario realizar ningún acondicionamiento de señal entre los dispositivos

5.2.6. Conexiones del microcontrolador PIC18F4550 con el LCD 2x16.

Un método para visualizar las mediciones y cálculos realizados por el microcontrolador es utilizar una pantalla grafica LCD. Para controlar la pantalla LCD podemos hacerlo por medio de sus patitas de entrada de dos maneras posibles, con bus de datos de 4 bits o con bus de datos de 8 bits, en este trabajo se usa la conexión de 4 bits, tiene 2 líneas de control RS y E (Register Select y ENABLE) y sus conexiones de tierra y +5v.

Las línea R/W se aterriza ya que estaremos escribiendo en el LCD y no se variara el contraste del LCD, conectando a tierra la terminal de contraste.

Se eligió el puerto paralelo B del microcontrolador debido a que cuenta con 8 pines disponibles (2 fueron utilizados por el puerto de depuración).

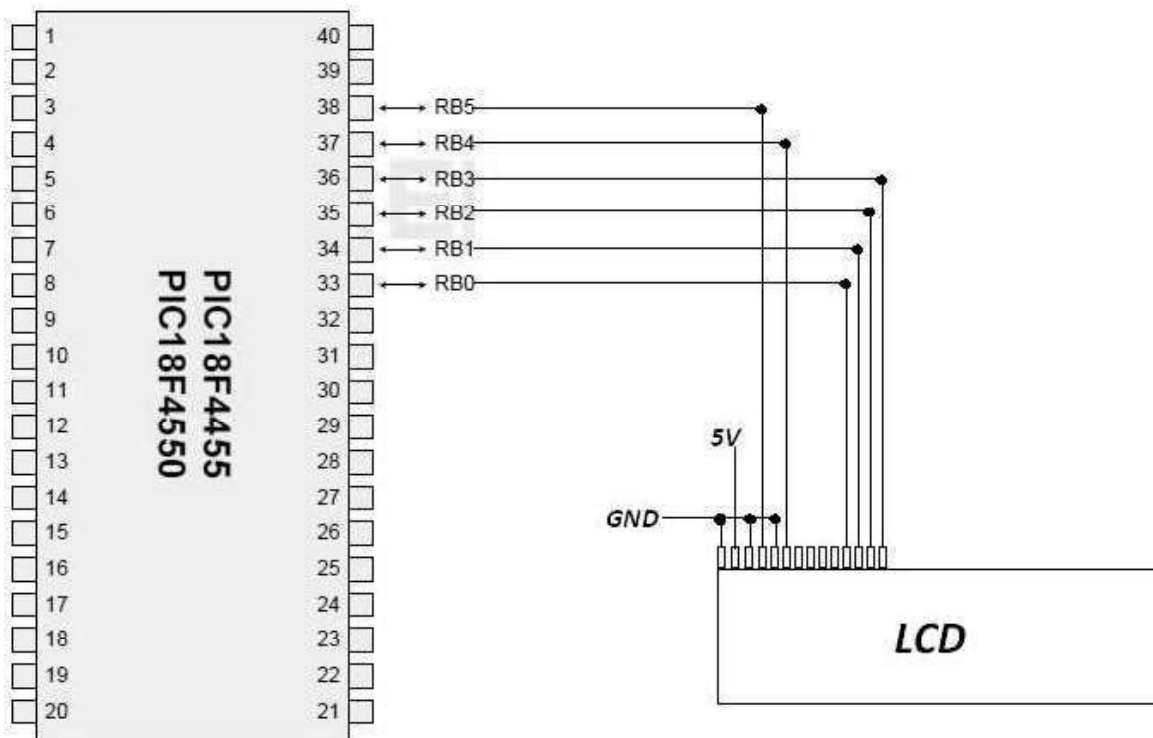


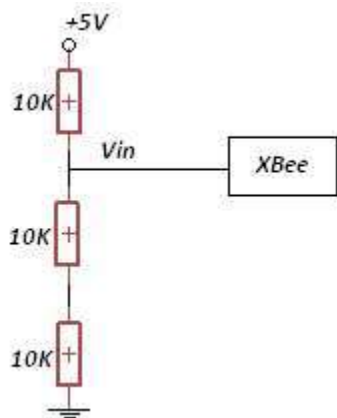
Figura 26. Conexiones entre el Microcontrolador y el LCD

5.2.7. Conexiones del microcontrolador PIC18F4550 con el XBee.

La figura 27 muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo Xbee para poder ser utilizado. El módulo requiere las conexiones a tierra, alimentación y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con el microcontrolador PIC18F4550.

El modulo Xbee requiere de un voltaje de alimentación de 3.3 Volts para operar de manera adecuada, esto se prevé desde el principio con una fuente de este valor, sin embargo, al utilizar esta fuente y conectar el modulo Xbee los niveles de voltaje de las señales de control entre el modulo Xbee y el microcontrolador se tienen que ajustar, así la salida del microcontrolador con niveles de 5 Volts y 0 Volts se tiene que ajustar a 3.3 Volts.

El siguiente circuito realiza la operación necesaria:



$$V_{IN} = \left(\frac{10K+10K}{30K} \right) 5$$

$$V_{IN} = \left(\frac{20K}{30} \right) 5 = \frac{100}{30}$$

$$V_{IN} = 3.3 \text{ Volts}$$

Para el voltaje de entrada al microcontrolador no se tiene problema ya que el microcontrolador considera un “1” lógico como una señal del 60% del voltaje de alimentación, así un “1” lógico es: (60%) (5Volts) = 3.0Volts, y el modulo proporciona 3.3 Volts como “1” lógico.

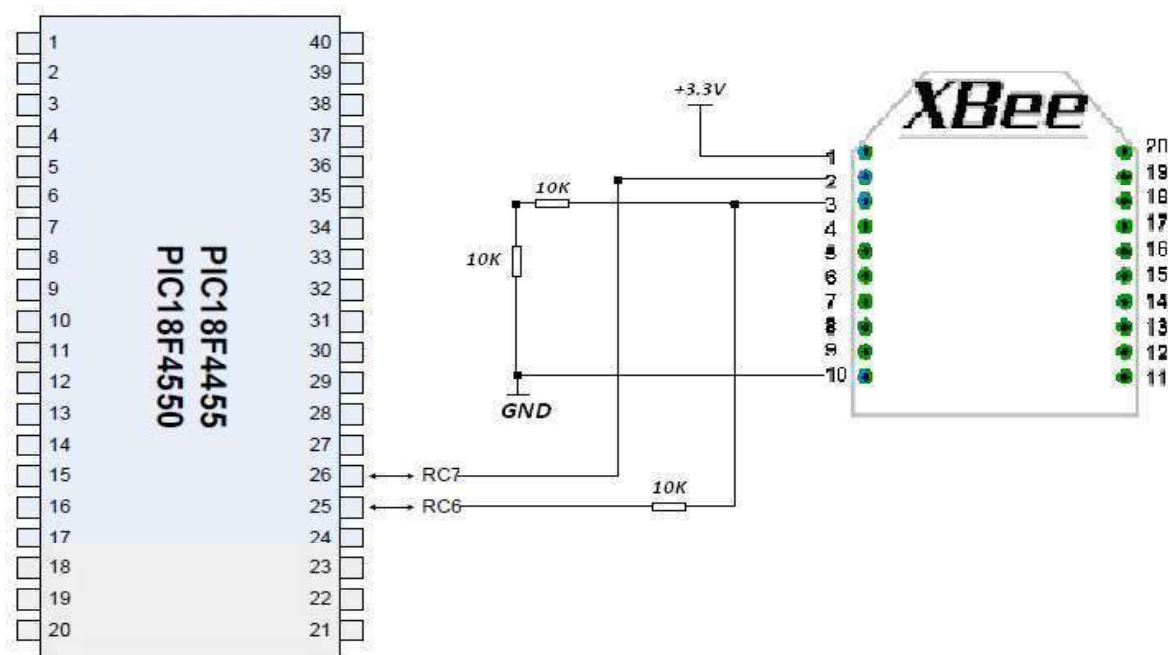


Figura 27. Conexiones entre el Microcontrolador y el Xbee

5.2.8. Equipo Desarrollado

En la siguiente figura se muestran las partes del equipo ya implementadas

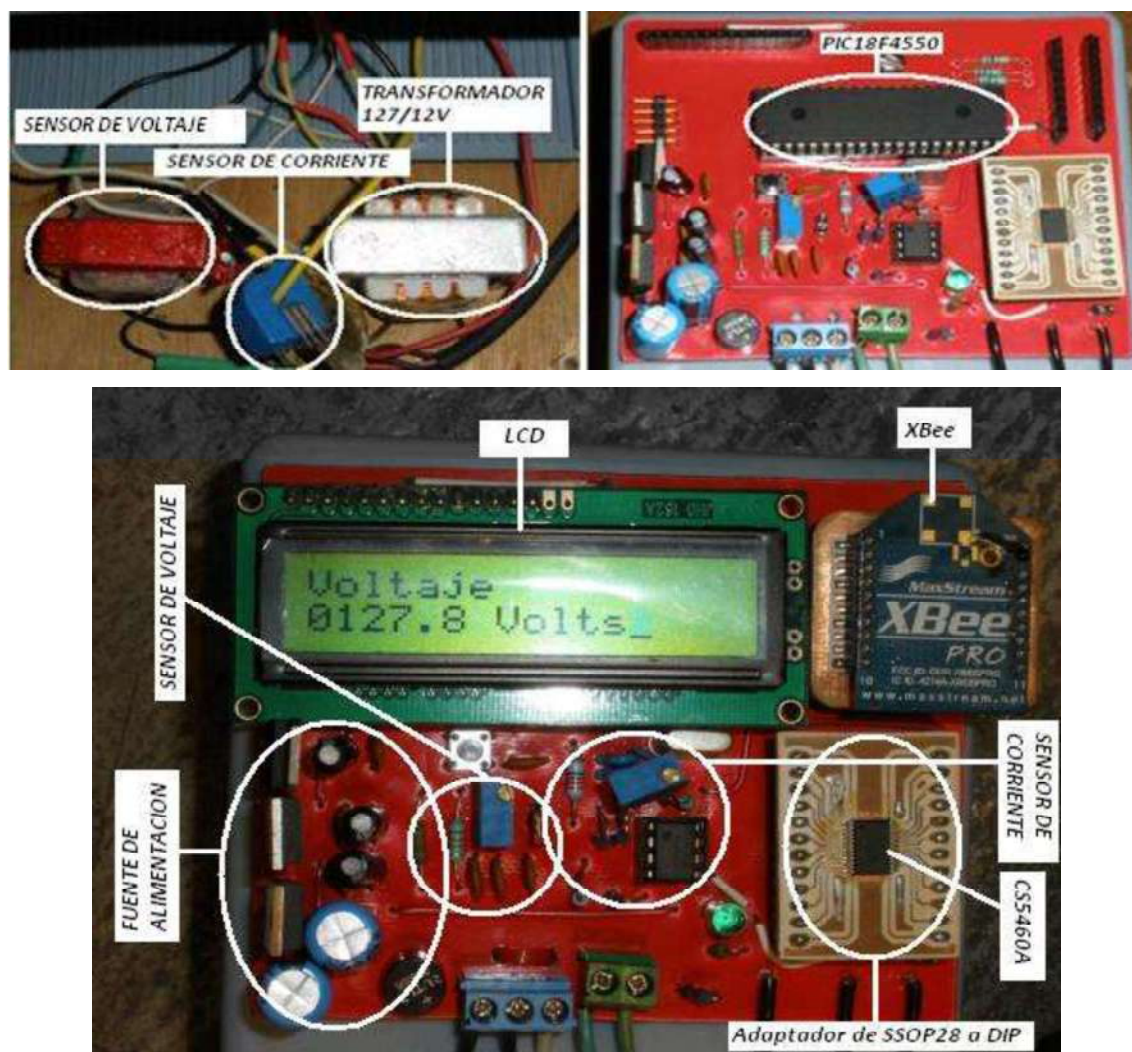
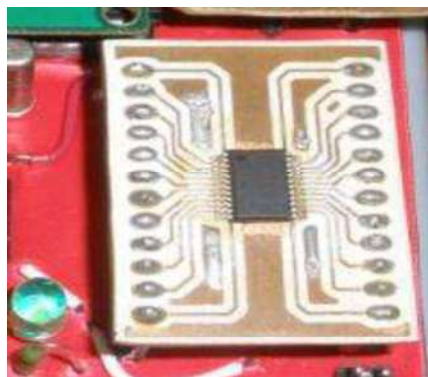


Figura 28. Disposición de los componentes en el sistema mínimo



Nota: Se realizo la construcción del adaptador SSOP28 (montaje superficial) a DIP

5.3. Software

5.3.1. Introducción

El programa se realizo en el entorno de desarrollo MPLAB IDE versión 8.20 utilizando el compilador MPLAB C-18 que es un compilador en lenguaje C para los microcontroladores de la serie 18 de microchip, esto con el fin de simplificar el desarrollo del software ya que se realizan operaciones que harían mas complejo el desarrollo en lenguaje ensamblador.

También se utilizo el depurador/programador ICD2 de la marca MICROCHIP para el desarrollo, pruebas y depuración del programa desarrollado. Además de una computadora donde se cargaron los programas anteriormente mencionados. A continuación se muestra una vista del entorno de desarrollo:

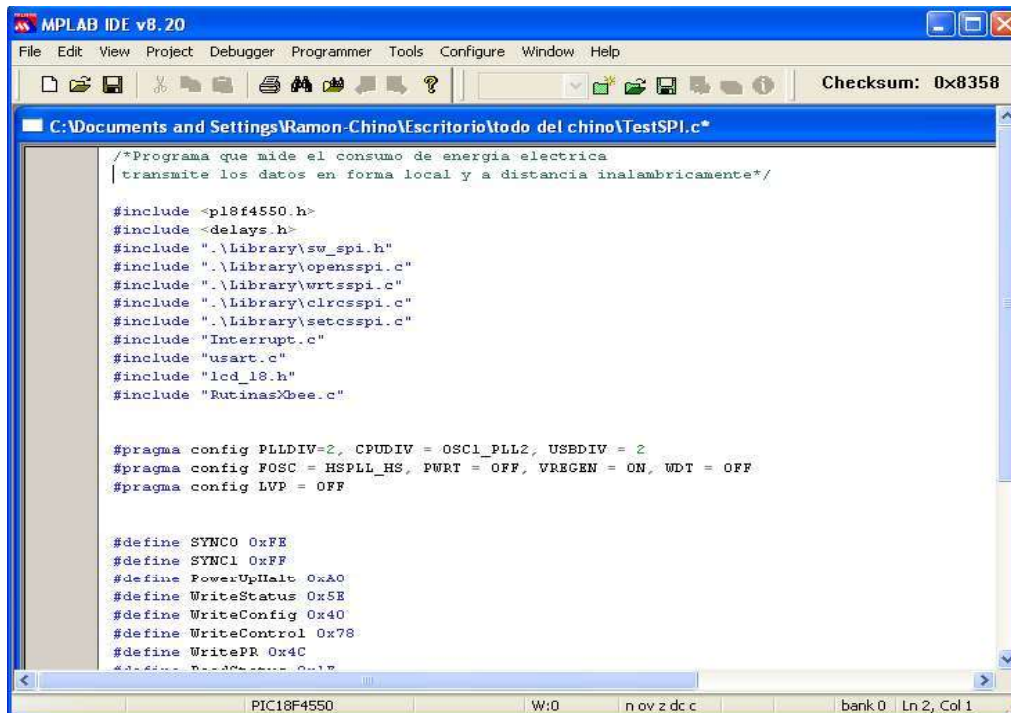


Figura 29.Entorno de desarrollo del software

La siguiente figura muestra el equipo utilizado para programar y depurar el software desarrollado para el μ CC PIC18F4550.



Figura 30.Programador/Depurador ICD2

5.3.2. Inicialización del sistema

Al momento de aplicar el voltaje al equipo y alimentar el microcontrolador PIC18F4550 se lleva a cabo la inicialización del sistema, el cual consta de varias tareas entre las que se encuentran:

- Configuración de los puertos de entrada-salida.
- Inicialización de las variables.
- Inicialización de interrupciones.
- Inicialización de los Timer 1 y 0.
- Inicialización del protocolo SPI.
- Inicialización de la comunicación inalámbrica.
- Inicialización y configuración del display LCD.
- Inicialización del circuito integrado CS5460A.

Estas rutinas inicializan el sistema de acuerdo a las características y conexiones previamente realizadas.

Resumen de las conexiones del Microcontrolador

- El puerto A se utiliza para el Timer 0, las demás terminales no utilizadas se configuran como entradas para evitar posibles cortocircuitos. En el puerto B las líneas son configuradas para controlar y transmitir la información al display LCD, además en este puerto se conecta el sistema de programación/depuración. El puerto C tiene conectado el sistema de transmisión inalámbrica Xbee y el Timer1. El puerto D tiene conectado el puerto SPI y el puerto E no se utiliza.
- Se debe tener cuidado en inicializar las variables para evitar posibles errores en el software, debido a que este compilador no inicializa los valores de las variables al inicio de la ejecución del software.
- Para inicializar las interrupciones se habilitan las banderas locales y las globales, en nuestro caso se utilizaron solo 2 interrupciones, la interrupción del timer0 y la de la recepción del puerto serial. Para habilitar estas interrupciones se colocan las banderas GIE, PEIE, TMR0IE, TMR0IF. Además se habilitan las interrupciones de alto nivel. Para habilitar las interrupciones de la recepción del puerto serie se habilita la bandera de recepción RCIF, RCIE, RCREG.
- El Timer1 se utiliza para calcular la cantidad de energía que se transfiere, para realizar el cálculo se configura como contador asíncrono. El Timer0 se utiliza como base de tiempo para el cálculo de la potencia real y como base de tiempo para incrementar la cantidad de energía en Watts-hora. En la configuración del puerto SPI solo se configuran las líneas de entrada y salida de acuerdo a las líneas del protocolo SPI.
- La inicialización del display LCD consiste en configurar las líneas de entrada-salida posteriormente se inicializa el protocolo de comunicación con el LCD en modo de 4 bits, y se configura el tipo de impresión de los caracteres (formato, cursos, parpadeo etc.).

- La inicialización del CS5460A inicia con la configuración del puerto SPI y posteriormente el envío del comando Reset y de sincronía. Se elaboraron rutinas de envío de comandos, la cual recibe el comando y los argumentos requeridos. De la misma manera cuenta con rutinas de lectura, esta función recibe el comando de lectura y recibe los 3 bytes (24 bits) de lectura. Adicionalmente se cuenta con comandos de 1 solo Byte.

Los comandos usados de un solo byte son:

Lectura de Voltaje Rms y Lectura de corriente RMS

5.3.3. Lectura del Voltaje RMS

El voltaje RMS es obtenido leyendo el registro de escritura/lectura 0x18. Este es un dato de 24 bits en un rango de 0 a 1 representando una fracción de la escala completa de voltaje. Para propósitos de visualización solo se utilizaran los 16 bits más significativos, los cuales son multiplicados por la escala completa para producir el valor de voltaje RMS medido de la línea (para propósitos de calculo de energía se utilizan los 24 bits). Este valor es convertido a un numero BCD de 5 dígitos. Para la impresión del voltaje en el indicador el LCD es limpiado, despliega la cadena “Voltaje”, coloca el punto decimal en la posición correcta, despliega el valor del voltaje RMS y su unidad “Volts”, después se transmite el resultado de la medición inalámbricamente.

Obtención del voltaje RMS escalando de manera adecuada

La máxima escala de entrada de voltaje es 250 mV lo cual seria 0xFFFF pero al tener señales senoidales tendríamos valores picos casi en el límite de la capacidad del circuito, realizando esta consideración solo se utiliza el 60% de la escala, así:

$$0xFFFF = 65535$$

$$250\text{mV} * 60\% = 150\text{ mV}$$

O lo que seria

$$65535 * 60\% = 39321$$

$$39321/15 = 2621$$

Note que se divide entre 15 que serian los 150 V pero para tener mayor resolución se hace divide 15, por lo que este valor es un múltiplo de 10.

De esta manera el voltaje RMS se obtiene el voltaje escalado como:

$$Voltaje = \frac{Voltaje\ leido\ del\ CS5460A * 100}{2621}$$

Nota: La multiplicación por 100 permite tener una mayor resolución en la conversión Volts.

A continuación se muestra en pseudo código esta función.

- Se lee el registro de voltaje (0x18).
- Se multiplica por 100 para obtener más decimales.
- Se escala a volts.
- Se limpia el display LCD.
- Se convierte el valor hexadecimal a ASCII.
- Se selecciona la posición en el display.
- Se posiciona el punto decimal.
- Se despliega el valor del voltaje.
- Se transmiten los datos inalámbricamente.
- Permanencia del mensaje en el display LCD.

5.3.4. Lectura de la Corriente RMS

La corriente RMS es obtenida leyendo el registro de escritura/lectura 0x16. Este es un proceso similar al del voltaje RMS, las únicas diferencias son: la escala completa usada para obtener el valor de la corriente RMS, la cadena desplegada en el LCD “Corriente”, la posición del punto decimal y la cadena de las unidades “Ampers”.

Obtención de la corriente RMS para escalar de manera adecuada el valor en Ampers.

Al igual que en el voltaje se tiene que reducir el voltaje de entrada a 150mV por lo cual se hace el mismo procedimiento que con el voltaje RMS solo que ahora se hará para 6 Amperes.

$$0xFFFF = 65535$$

$$65535 * 60\% = 39321$$

$$39321/6 = 6553$$

El valor 6553 permite escalar el resultado de las mediciones a Amperes

La forma en la que obtenemos esta conversión de unidades se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Corriente leída por el CS5460A} * 1000}{6553}$$

Nota: Se multiplica el resultado por 1000 para incrementar la resolución de corriente.

A continuación se muestra en pseudo código esta función.

- Se lee el registro de corriente (0x16).
- Se multiplica por 1000 para incrementar la resolución de la corriente.
- Se escala a Amperes.
- Se limpia el display LCD.
- Se convierte el valor hexadecimal a ASCII.
- Se selecciona la posición en el display.
- Se posiciona el punto decimal.
- Se despliega el valor de corriente.
- Se transmiten los datos inalámbricamente.
- Permanencia del mensaje en el display LCD.

5.3.5. Energía

La cantidad de energía transferida es calculada leyendo el valor del contador asíncrono del Timer1, este contador asíncrono es el que se acumula todos los pulsos salientes del pin EOUT. Se utilizo el Timer1 en modo contador asíncrono para evitar sobrecargar el procesamiento del microcontrolador y evita el uso de interrupciones. El circuito integrado CS5460A fue programado para generar un pulso cuando 10Wseg sean medidos. Teniendo el número de pulsos contados se sigue el mismo esquema de operación que los anteriores valores medidos. Los valores son desplegados en unidades de Watts-hora Para realizar el cálculo se usan las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ pulso} = 10 \text{ Wseg}$$

$$360 \text{ pulsos} = 1 \text{ WHr}$$

Suponiendo que tenemos una lámpara de 75W los cálculos para obtener los watts hora en 10 minutos serian los siguientes:

$$\frac{75W}{10Wseg} = 7.5 Pulsos por segundo$$

$$7.5 Pulsos por segundo * 60 = 450 Pulsos por minuto$$

$$450 Pulsos por minuto * 120 min = 54000 Pulsos en 120 minutos$$

$$\frac{54000 Pulsos}{360 Pulsos} = 150 Watts - Hora$$

A continuación se muestra en pseudo código esta función.

- Se lee el Timer1 para obtener el No de pulsos.
- Se convierte a Watts-Hora.
- Se limpia el display LCD.
- Se convierte el valor hexadecimal a ASCII.
- Se selecciona la posición en el display.
- Se posiciona el punto decimal.
- Se despliega el valor de la energía.
- Se transmiten los datos inalámbricamente.
- Permanencia del mensaje en el display LCD.

5.3.6. Obtención de la Potencia Aparente

El circuito integrado CS5460A por si solo no proporciona el valor de la potencia aparente que esta siendo consumida por la carga conectada al equipo. Sin embargo es posible obtener la potencia aparente realizando una operación de multiplicación.

Para la obtención de la potencia aparente se realiza la siguiente operación:

$$Potencia Aparente = V_{RMS} * I_{RMS}$$

Entonces para el cálculo de la potencia aparente se lee el valor de voltaje RMS y corriente RMS del circuito integrado CS5460A. Como estos valores fueron obtenidos y escalados con anterioridad, solo se realiza la multiplicación de ambos valores. Sin embargo, como ambos valores tienen una longitud de 16 bits, al realizar la multiplicación se obtiene un resultado de 32 bits.

Como el valor de corriente RMS y voltaje RMS se encuentran escalados por factores que permiten obtener “fracciones”, es necesario realizar nuevamente un escalamiento. Esto se realiza dividiendo el resultado de la potencia aparente entre 1000. Así la ecuación queda como:

$$Potencia\ Aparente = \frac{(V_{RMS} * I_{RMS})}{1000}$$

A continuación se muestra en pseudo código esta función.

- Se calcula la potencia aparente.
- Se convierte el valor de hexadecimal a ASCII.
- Se limpia el display LCD.
- Se selecciona la posición en el display.
- Se posiciona el punto decimal.
- Se despliega el valor de la potencia aparente.
- Se transmiten los datos inalámbricamente.
- Permanencia del mensaje en el display LCD.

5.3.7. Obtención de la Potencia Real

Este circuito no esta diseñado para proporcionar de manera directa la medición de potencia real, sin embargo, es posible obtener ese parámetro a partir de la cantidad de energía consumida por el dispositivo.

Como la energía esta dada en Watts-Hora, para el cálculo de la potencia real es necesario realizar la integración de la energía en un periodo de tiempo lo suficientemente pequeño para proporcionar una medición de energía. Para el periodo de integración se utilizo como base de tiempo el Timer0, la colocación de un prescaler de 1:256, con un cristal de 8MHz el microcontrolador corre a 12 MHz, son necesarios 5 sobreflujos para tener un periodo de 7.001 seg, así el periodo de integración para el calculo de la potencia real es de 7 seg.

Así la potencia real esta dada por la siguiente ecuación:

$$Potencia\ Real = \frac{No\ Pulsos\ del\ periodo\ de\ 7seg * 100}{7}$$

Nota: El factor de 100 permite obtener algunos decimales para la impresión en el display LCD.

Ya teniendo el valor calculado se limpia el LCD, se despliega la cadena “Potencia Real”, colocamos el punto decimal en la posición correcta, desplegamos el valor de la Potencia Real y su unidad “watts”, después se transmite el resultado de la medición inalámbricamente.

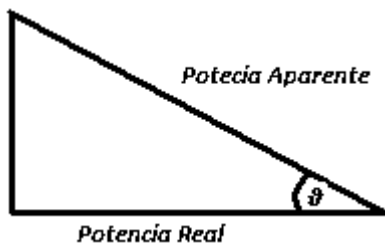
A continuación se muestra en pseudo código esta función

- Se calcula la potencia real.
- Se limpia el display LCD.
- Se convierte el valor de hexadecimal a ASCII.
- Se selecciona la posición en el display.
- Se posiciona el punto decimal.
- Se despliega el valor de la potencia real.
- Se transmiten los datos inalámbricamente.
- Permanencia del mensaje en el display LCD.

5.3.8. Factor de Potencia

De manera similar a los 2 casos anteriores, la medición del factor de potencia no se proporciona directamente, así que es necesario obtenerla de manera alterna.

La medición del factor de potencia se basa en el triangulo de potencias, donde:



El factor de potencia se define como $\cos\theta$, o bien $\frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}}$, así para la obtención del factor de potencia, solo se dividen los resultados previos de la Potencia Real y la Potencia Aparente.

Es posible tener 3 casos

- Si la $PA > PR$ entonces el factor de potencia es negativo y esta entre 0 y 1.
- Si la $PR = 0$ entonces no existe carga conectada y el factor de potencia no se puede determinar.
- Debido al periodo de integración es posible que la potencia real sea mayor que la aparente, en este caso se considera un $F.P = 1$.

En este medidor no se considera el caso de un factor de potencia positivo, debido a que la mayoría de las cargas presentan un factor de potencia negativa y este dispositivo esta diseñado para cargas comunes de casa habitación.

A continuación se muestra en pseudo código esta función

- Se multiplica la potencia real por 1000 para aumentar la resolución.
- Se calcula el F.P.
- Se colocan condiciones.
- Se limpia el display LCD.
- Se convierte el valor de hexadecimal a ASCII.
- Se selecciona la posición en el display.
- Se posiciona el punto decimal.
- Se despliega el valor del F.P.
- Se transmiten los datos inalámbricamente.
- Permanencia del mensaje en el display LCD.

5.3.9. Interrupciones

En este programa se utilizaron 2 interrupciones una sirve para generar el periodo de integración para el calculo de la potencia real y permitir obtener la cantidad de energía que es consumida por la carga. Al alcanzar 360 pulsos se incrementa en una unidad los Watts-hora. Al mismo tiempo, la cuenta de Watts-hora se almacena en la memoria no volátil “EEPROM”. Por ultimo se decrementa en 360 el numero de pulsos del registro de cuenta de pulsos.

La segunda interrupción es la del puerto serial que permite recibir datos del modulo Xbee. El modulo Xbee responde al transmitir, configurar o recibir alguna transmisión, esta característica hace necesaria la implementación de la recepción de los datos utilizados en las interrupciones.

A continuación se muestra en pseudo código la interrupción del Timer0.

- Se realiza un conteo de sobreflujos.
- Se lee la cuenta actual de número de pulsos.
- Se colocan los pulsos en una variable de 16 bits.
- Se obtiene el número de pulsos en un periodo de 7 seg.
- Se almacenan los Watts-Hora en la memoria EEPROM.

5.3.10. Rutina Xbee

El código de las rutinas Xbee esta creado para enviar los resultados que se desean transmitir de forma inalámbrica, en esta aplicación solo se envían datos y no se reciben así que solo se utilizan las funciones de transmisión. La rutina sendXbeeMsj envía mensajes en formato ASCII al modulo receptor. El método de uso de esta rutina es enviar la “etiqueta” y posteriormente el valor.

Para el correcto uso de esta rutina es necesario determinar la dirección del coordinador al cual se le están enviando los datos. Esta rutina permite enviar la información de manera inalámbrica y concentrar esta en un modulo o en una PC, el método de envío permite identificar el origen del mensaje, por lo que es posible determinar cual medidor esta enviando la información.

A continuación se muestra en pseudo código esta función

- Se determinar la dirección del coordinador.
- Se envía la etiqueta
- Se envía la variable

Capítulo 6. Pruebas efectuadas y Resultados obtenidos

6.1. Introducción.

Con la finalidad de verificar el funcionamiento del sistema de medición de variables eléctricas, se estableció un periodo de pruebas para comprobar que el equipo realice las mediciones de forma correcta. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de electrónica, conectando el equipo construido a diferentes aparatos eléctricos y comparando los resultados de las mediciones tomadas con un multímetro, además se verifico el correcto funcionamiento de la transmisión inalámbrica.

6.2. Pruebas Efectuadas

La primera prueba que se realizo fue midiendo el consumo de energía eléctrica de un motor de inducción realizando las funciones de esmerilador.



Figura 31. Prueba 1

En la figura 31 vemos el esmeril, el multímetro utilizado para comparar resultados y el equipo de medición construido. Para realizar la prueba se conecto el multímetro en serie entre el esmeril y el equipo medidor y el resultado de las mediciones se muestra en las siguientes figuras.



Figura 32. Valor de corriente medido por el multímetro

En la imagen de la figura 32 vemos el resultado de la lectura de corriente AC que nos entrego el multímetro dando un resultado de 0.654 Ampers.



Figura 33. Valor de corriente medido por el equipo construido

En la imagen 33 vemos el resultado de la lectura de corriente AC que nos entrego el equipo construido dando un resultado de 0.584 Ampers.

Al comparar los resultados vemos que son similares y procedemos a medir el voltaje de la línea medido por ambos equipos.



Figura 34. Valor de voltaje medido el multímetro.



Figura 35. Valor de voltaje medido por el equipo construido.

Los voltajes al igual que las corrientes medidas son muy similares así que se concluye con esta primera prueba que las lecturas que se están desplegando por el equipo construido son adecuadas, sin embargo falta calibrar el sistema de manera optima..

Para corroborar que el equipo funciona en todos sus aspectos adecuadamente se realizaron mas pruebas, otra de las pruebas realizadas fue medir el consumo de una carga de potencia conocida, se eligió una lámpara con un foco de 100W.



Figura 36. Prueba 2

Para realizarla segunda prueba se utilizo ahora una lámpara con un foco de 100W, al igual que en la prueba anterior se utilizo también un multímetro para comparar resultados con el equipo construido.

El primer valor comparado fue el de la corriente



Figura 37. Valor de corriente medido por el multímetro



Figura 38. Valor de corriente medido por el equipo construido

Con esta segunda medición de corriente podemos ver que las mediciones se están haciendo en forma correcta al ver que el multímetro da un valor de 0.804Amper's y el equipo construido da un valor de 0.775Amper's. La diferencia entre ambos es muy poca así que se procedió a realizar la lectura de la potencia real



Figura 39. Valor de potencia real por el equipo construido

El valor de la potencia real medido por el equipo construido nos deja ver mas claramente que el equipo esta funcionando adecuadamente ya que se esta midiendo un foco de 100W y estábamos esperando un resultado cercano a este valor y se obtuvo el valor exacto.

Para comprobar el funcionamiento de la medición de energía consumida se vio que para un foco de 100W se debe de tener 100 W-Hr en una hora así que verificamos este valor y se comprobó, visualmente no se ve en la energía 100W-Hr pero esto se debe a que la energía se va acumulando de todas las mediciones realizadas. Inicialmente se tenía un valor de 83 Watts-hora. Al final se leyeron 186 Watts-hora.

Por lo tanto la lectura de esta prueba fue de $186 - 83 = 103$ Watts-hora



Figura 40. Valor de la energía consumida

Ya teniendo la certeza del funcionamiento del equipo observamos el valor del factor de potencia consumido por esta lámpara.



Figura 41. Valor del F.P medido por el equipo construido

En la figura anterior podemos ver que la lámpara con el foco de 100W tiene un F.P de .934

Ya teniendo comprobado el correcto funcionamiento de el equipo se procedieron a realizar más lecturas a diferentes equipos (televisiones, ventiladores, taladros, refrigeradores, computadores personales, etc.), que ya no serán presentadas en este trabajo ya que se buscaba solamente comprobar que el equipo funcionara adecuadamente.

Las pruebas de comunicación en forma inalámbricas se realizaron de 2 maneras, comunicándonos con una computadora por medio de los Xbee y comunicación con una unidad base que estaba compuesta por un microcontrolador, un display LCD y el Xbee.

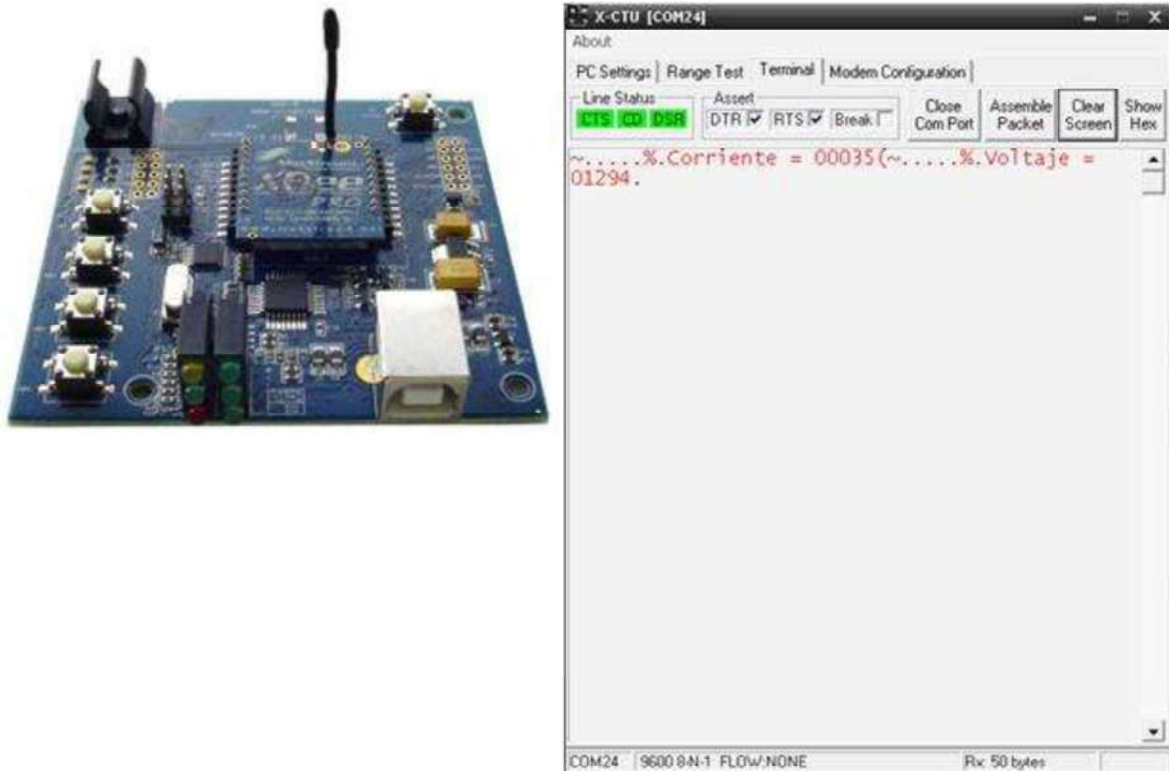


Figura 42. Transmisión inalámbrica a una computadora.

Para realizar la comunicación con la computadora se utilizo una tarjeta de interfaz USB y el software X-CTU.

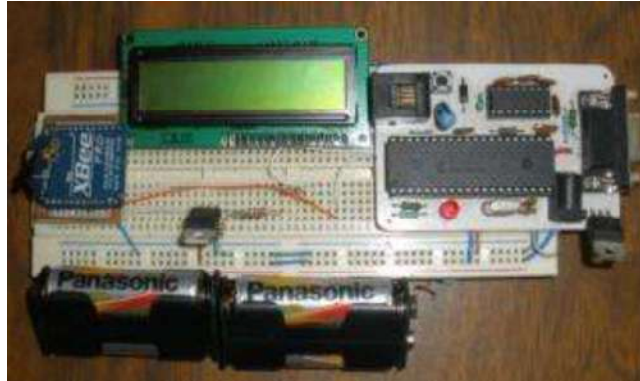


Figura 43. Transmisión inalámbrica a una unidad base.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El sistema de medición de consumo de energía eléctrica fue desarrollado en el laboratorio de ingeniería electrónica durante un periodo de 6 meses. El equipo fue creado en 2 etapas, diseñándose en la primera la parte el hardware y en la segunda etapa la parte del software.

La experiencia personal adquirida durante el desarrollo de este trabajo es integral, ya que combina los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante mi estancia en la universidad para poder llevar hasta esta etapa este trabajo.

Una vez finalizada esta etapa del proyecto, se hace necesario realizar un análisis de las fortalezas, posibles mejoras y carencias de este trabajo. En ningún sentido se afirma que todo esta finalizado y que no hay posibilidad para aplicar mejoras, que lleven a otra etapa de mayor funcionalidad al proyecto, es precisamente esto lo que permite establecer las perspectivas a futuro.

En base a la experiencia adquirida y resultados aportados, se establece que este sistema es una alternativa funcional para realizar la adquisición de lecturas del consumo eléctrico ya sea local o a distancia.

Por lo anterior se pueden establecer las conclusiones y trabajos futuros derivados del desarrollo del tema expuesto en este trabajo de tesis

Conclusiones

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo, se cumplen satisfactoriamente en los siguientes términos.

- ✓ Se construyo un medidor (hardware y software) que realiza las operaciones necesarias para obtener el consumo de energía eléctrica.
- ✓ Se implemento el sistema de transmisión inalámbrica.
- ✓ Se probó el equipo teniendo un funcionamiento adecuando.
- ✓ Medición de I_{RMS} , V_{RMS} , f.p., potencia.

Cumpliendo las expectativas que se habían planteado al inicio del programa, podemos decir que el equipo es un equipo de medición muy completo, ya que despliega y mide más valores que los equipos encontrados actualmente en el mercado.

6.2. Trabajos Futuros

Este trabajo es un prototipo de prueba, con el cual se ven los errores a corregir y mejoras que se podrían aplicar en diseños futuros. Los siguientes puntos son algunos detalles que se deben de corregir para una mayor robustez del proyecto.

- Se debe mejorar la calibración del equipo desarrollado ya que en este trabajo no se tiene acceso a un instrumento de medición con alto índice de exactitud para realizar esta calibración, por lo tanto podrían mejorar los resultados obtenidos si se calibrara respecto a un instrumento de ese tipo, así como elegir sensores de mayor calidad.

Nota: Los rangos de calibración son de 150 mV a plena escala.

- Implementar un menú para seleccionar la señal eléctrica que se desea observar.
- Mejorar el sistema de sensores ya que no son muy exactos en la forma que se están utilizando.
- Mejorar el método o periodo de integración para el cálculo del f.p.
- Reducir el tamaño del equipo ya que como prototipo el tamaño se incrementa por posibles modificaciones en el trayecto de elaboración, pero al conocer el hardware necesario se puede llevar a una reducción de tamaño.

APENDICE A

HOJAS DE DATOS



L7900 SERIES

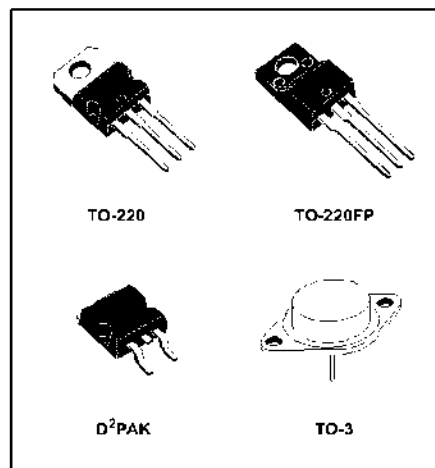
NEGATIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT UP TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF -5; -5.2; -6; -8; -9; -12; -15; -18; -20; -22; -24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

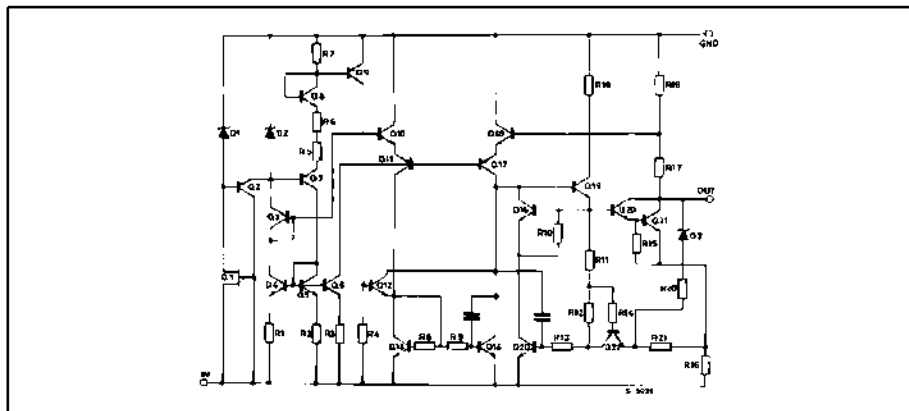
DESCRIPTION

The L7900 series of three-terminal negative regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation; furthermore, having the same voltage option as the L7800 positive standard series, they are particularly suited for split power supplies. In addition, the -5.2V is also available for ECL system. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5A output current.

Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



SCHEMATIC DIAGRAM



February 2003

1/16



www.fairchildsemi.com

KA78XX/KA78XXA

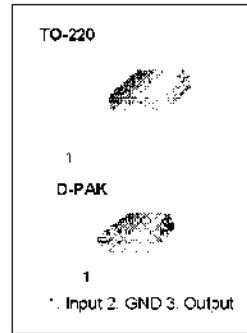
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

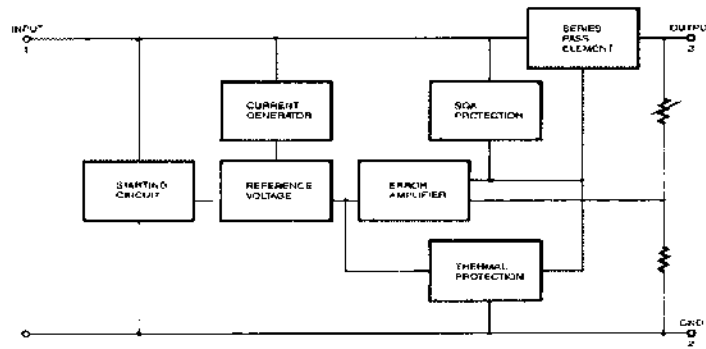
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The KA78XX/KA78XXA series of three-terminal positive regulator are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.0

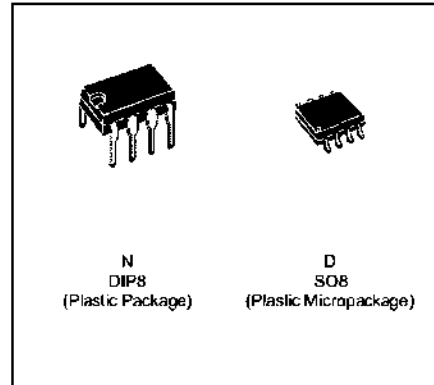
©2001 Fairchild Semiconductor Corporation



TL072 **TL072A - TL072B**

LOW NOISE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE $e_n = 15\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16\text{V}/\mu\text{s}$ (typ)



DESCRIPTION

The TL072, TL072A and TL072B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

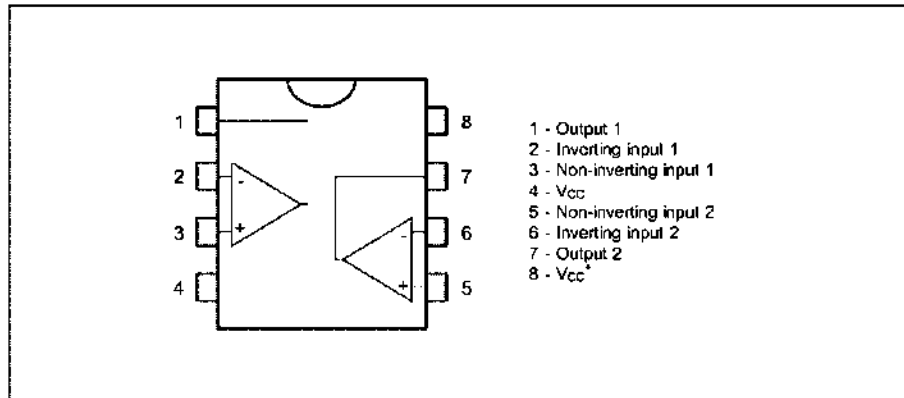
The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL072M/AM/BM	-55°C, +125°C	*	*
TL072V/AI/BI	-40°C, +105°C	*	*
TL072C/AC/BC	0°C, +70°C	*	*

Example : TL072CN

PIN CONNECTIONS (top view)



December 1998

1/9

APENDICE B

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

```
#include <p18f4550.h>
#include <delays.h>
#include ".\Library\sw_spi.h"
#include ".\Library\opensspi.c"
#include ".\Library\wrtsspi.c"
#include ".\Library\clrcsspi.c"
#include ".\Library\setcsspi.c"
#include "Interrupt.c"
#include "usart.c"
#include "lcd_18.h"
#include "RutinasXbec.c"

#pragma config PLLDIV=2, CPUDIV = OSC1_PLL2, USBDIV = 2
#pragma config FOSC = HSPLL_HS, PWRT = OFF, VREGEN = ON, WDT = OFF
#pragma config LVP = OFF

#define SYNC0 0xFE
#define SYNC1 0xFF
#define PowerUpHalt 0xA0
#define WriteStatus 0x5E
#define WriteConfig 0x40
#define WriteControl 0x78
#define WritePR 0x4C
#define ReadStatus 0x1E
#define ReadConfig 0x00
#define OffsetCDVoltaje 0xD1
#define OffsetCDCorriente 0xC9
#define ComandoOffsetVoltaje 0x06
#define ComandoOffsetCorriente 0x02
#define ComandoStart 0xE8
#define LeerVoltajeRMS 0x18
#define LeerCorrienteRMS 0x16

#define AddressCoordinator 0x1000

unsigned long PotenciaAparente;
unsigned short long Voltaje, Corriente, PotenciaReal100;
unsigned int FP;

unsigned int Pulsos;
unsigned char PulsosH, PulsosL;

unsigned char Din1, Din2, Din3, A[6];
/*
unsigned char contador, WattHora;
unsigned char PulsosHI, PulsosLI, PulsosLi2;
unsigned int PulsosAnteriores, NoPulsos, PotenciaReal, PulsosActuales, PulsosHi2;
*/

void interrupcion_alta(void);

unsigned char readEEPROM(unsigned char dir)
{
    EECON1bits.EEPGD = 0; //Programa EEPROM datos
    EECON1bits.CFGS = 0; //
    EEADR = dir; //Asigna direccion
    EECON1bits.EEPGD = 0; //Deshabilitar programacion
    EECON1bits.RD = 1; //Lees
    return EEDATA; //Regresas dato a valor
}
```

//ESCRITURA DE LA EEPROM DEL MICRO

```
void writeEEPROM(unsigned char dir, unsigned char dato)
{
    EEADR = dir;
    EEDATA = dato;
    EECON1bits.EEPCD = 0; //Programa EEPROM datos
    EECON1bits.CFGS = 0; //
    EECON1bits.WREN = 1; //Habilitas la escritura
    INTCONbits.GIE = 0; //Deshabilitas interrupcion
    EECON2 = 0X55;
    EECON2 = 0XAA;
    EECON1bits.WR = 1;
    INTCONbits.GIE = 1; //Habilitas interrupcion
    EECON1bits.WREN = 0;
    while(PIR2bits.EEIF==0);
    PIR2bits.EEIF = 0;
}
```

```
void delayimpresion (void)
{
    unsigned char i;
    for (i=0;i<15;i++)
        Delay10KTCYx(250);
}
```

```
void SendCommand(unsigned char comando, unsigned char par1, unsigned char par2, unsigned char par3)
{
    ClearCSSWSPi(); //clear CS pin
    WriteSWSPi(comando); //send write cmd
    WriteSWSPi(par1); //MSB
    WriteSWSPi(par2); //middleSB
    WriteSWSPi(par3); //LSB
    SetCSSWSPi(); //set CS pin
}
```

```
unsigned int Leertimer1(void)
{
    unsigned int Periodo;
    PulsosL=TMR1L;
    PulsosH=TMR1H;
    Periodo=PulsosH;
    Periodo=Periodo<<8;
    Periodo=Periodo|PulsosL;
    return Periodo;
}
```

```
void ReadReg(unsigned char Registro)
{
    ClearCSSWSPi();
    WriteSWSPi(Registro);
    Din1=WriteSWSPi(SYNC0);
    Din2=WriteSWSPi(SYNC0);
    Din3=WriteSWSPi(SYNC0);
    SetCSSWSPi();
}
```

```
void SendCommand1byte (unsigned char Comando)
{
    ClearCSSWSPi();
    WriteSWSPi(Comando);
    SetCSSWSPi();
}
```

```
void Hex2ASCII( unsigned int valor)
{
    A[0]=valor/10000 + 0x30;
    valor=valor%10000;
    A[1]=valor/1000 + 0x30;
    valor=valor%1000;
```

```

        A[2]=valor/100 + 0x30;
        valor=valor%100;
        A[3]=valor/10 + 0x30;
        A[4]=valor%10 + 0x30;
    }

    // Envia el Mensaje junto con la variable.
    void SendXbeeMsj(rom unsigned char *letrero, unsigned char *ASCII)
    {
        unsigned char i,j;

        i=0;
        // Envia mensaje en ROM
        while(*letrero != 0)
        {
            Datos[i] = *letrero;
            letrero++;
            i++;
        }
        // Envia la variable
        for(j=0;j<5;j++)
        {
            Datos[i] = *ASCII;
            ASCII++;
            i++;
        }
        Nop();
        EnvioDatos(i, AddressCoordinator);
    }

    void main (void)
    {
        unsigned char i;

        writeEEPROM(0x00,0x00);
        writeEEPROM(0x01,0x00);

        InitUSART();
        T1CON=0b10000111;
        T0CON=0b10010111;
        TMR1H=0x00;//inicializa la cuenta del timer en cero
        TMR1L=0x00;
        contador=0;
        PulsosAnteriores=0;
        WattsHora=0;

        INTCONbits.TMR0IE=1;
        INTCON2bits.TMR0IP=1;
        // Habilitación de la interrupción de
        // recepción de datos por el puerto USART
        // y prioridad de interrupción
        PIR1bits.RCIF = 0;
        PIE1bits.RCIE = 1;
        IPR1bits.RCIP = 1;

        INTCONbits.GIE=1;
        INTCONbits.TMR0IF=0;

        lcd_init();
        lcd_clear();

        OpenSWSPI();                // Inicializa el SPI

        SendCommand(WriteConfig,0,0,0x81);    //reset al chip CS5460A,escribe al registro de configuracion
        SendCommand(SYNC1,SYNC1,SYNC1,SYNC0);//sincronizar comunicacion SPI

        Delay10KTCYx(100);

        SendCommand(WriteConfig,0x00,0x00,0x61);//configura offset y ganancia
    }

```

```

SendCommand(WriteControl,0x00,0x00,0x00);//configura control

// Lectura del registro de configuracion
ReadReg(ReadStatus);

//inicia ciclo de conversion continua
SendCommand(WritePR,0x00,0x1F,0x40);//configura Pulse Rate
SendCommand1byte(ComandoStart);
Delay10KTCYx(100);

lcd_clear();
while(1)
{
// Lee el valor de la Corriente RMS

    ReadReg(LeerCorrienteRMS);
    Corriente=Din1;
    Corriente=Corriente<<8;
    Corriente=Corriente|Din2;
    Corriente=Corriente*1000;
    Corriente=Corriente/6553;

    Hex2ASCII(Corriente);
    lcd_clear();
    lcd_goto(0x00);
    lcd_puts("Corriente ");
    lcd_goto(0x40);
    for(i=0;i<5;i++)
    {
        if(i==2)lcd_putchar('.');
        lcd_putchar(A[i]);
    }
    lcd_puts(" Ampers");

    SendXbeeMsj("Corriente = ", A);

    delayimpresion();

// Lee el valor del Voltaje RMS

    ReadReg(LeerVoltajeRMS);
    Voltaje=Din1;
    Voltaje=Voltaje<<8;
    Voltaje=Voltaje|Din2;
    Voltaje=Voltaje*100;
    Voltaje=Voltaje/2621;
    lcd_clear();
    Hex2ASCII(Voltaje);
    lcd_goto(0x00);
    lcd_puts("Voltaje");
    lcd_goto(0x40);
    for(i=0;i<5;i++)
    {
        if(i==4)lcd_putchar('.');
        lcd_putchar(A[i]);
    }
    lcd_puts(" Volts");

    delayimpresion();

//Calcula la energía Watts-Hora

    Pulsos=Leertimer1();
    lcd_clear();
    Hex2ASCII(WattsHora);
    lcd_goto(0x00);

    lcd_puts("Energia ");

```

```

        lcd_goto(0x40);
        for(i=0;i<5;i++)
        {
            lcd_putchar(A[i]);
        }
        lcd_puts(" Watt-Hr");

        delayimpresion();

        //Leer Potencia Aparente

        PotenciaAparente=(Voltaje*Corriente)/1000;
        Hex2ASCII((unsigned int)PotenciaAparente);
        lcd_clear();
        lcd_goto(0x00);
        lcd_puts("PotenciaAparente");
        lcd_goto(0x40);
        for(i=0;i<5;i++)
        {
            if(i==4)lcd_putchar('.');
            lcd_putchar(A[i]);
        }
        lcd_puts(" VA ");

        delayimpresion();

        //Leer Potencia real
        PotenciaReal=(NoPulsos*100)/7;
        lcd_clear();
        Hex2ASCII(PotenciaReal);
        lcd_goto(0x00);
        lcd_puts("Potencia Real");
        lcd_goto(0x40);
        for(i=0;i<5;i++)
        {
            if(i==4)lcd_putchar('.');
            lcd_putchar(A[i]);
        }
        lcd_puts(" watts");

        delayimpresion();

        //Leer Factor de Potencia

        PotenciaReal100=PotenciaReal;
        PotenciaReal100=PotenciaReal100*1000;
        FP=PotenciaReal100/PotenciaAparente;
        if(FP>1000)
            FP=1000;
        lcd_clear();
        Hex2ASCII(FP);
        lcd_goto(0x00);
        lcd_puts("FactordePotencia");
        lcd_goto(0x40);
        for(i=0;i<5;i++)
        {
            if(i==2)lcd_putchar('.');
            lcd_putchar(A[i]);
        }
        delayimpresion();
    }
}

```


BIBLIOGRAFIA

Valores RMS

[1] http://www.unicrom.com/Tut_rms_promedio.asp

[2] <http://jhproject.wordpress.com/2008/07/30/valores-efectivos-o-rms/>

Medidores eléctricos

[3] http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrotecnia/ap06_medidores_electricos.php

[4] http://mx.encarta.msn.com/encyclopedia_761555630/Medidores_el%C3%A9ctricos.html

Dispositivos electrónicos

[5] http://www.cirrus.com/en/pubs/proDatasheet/CS5460A_F4.pdf

[6] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>

[7] <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/170239/LEM/LTS6-NP.html>

[8] <http://www.elane.net/Datasheets/Datasheet%202x16%20LCD%20Module.pdf>

[9] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00220a.pdf>

[10] <http://www.rev-ed.co.uk/docs/XBE001.pdf>