

**Universidad Nacional de San Luis**  
**Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales**  
**Ingeniería Electrónica con Orientación en Sistemas Digitales**

# Proyecto Final Interfaces

## Medidor de Energía Bidireccional Inteligente

### Alumno

- Postemsky Marcos Emiliano

### Docentes

- Ing. Roberto Martín Murdocca
- Ing. Sergio Fernando Hernández Velázquez

**Marzo 2017**



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Medidor de energía . . . . .	1
1.1.1. Medidor de energía unidireccional . . . . .	1
1.1.2. Medidor de energía bidireccional . . . . .	1
1.2. Estado del Arte . . . . .	2
1.3. Objetivo y Justificación . . . . .	2
1.3.1. Diagrama en bloques del sistema . . . . .	3
<b>2. Acondicionamiento de señal</b>	<b>5</b>
2.1. Introducción . . . . .	5
2.2. Fundamentos del acondicionamiento de señales . . . . .	5
2.2.1. Atenuación . . . . .	5
2.2.2. Filtrado . . . . .	5
2.2.3. Aislamiento . . . . .	6
2.3. Acondicionamiento en tensión CA . . . . .	6
2.3.1. Amplificador de aislamiento . . . . .	6
2.3.1.1. Descripción . . . . .	6
2.3.1.2. Circuito utilizado AMC1200B . . . . .	6
2.3.1.3. Divisor resistivo 220 V CA . . . . .	7
2.4. Acondicionamiento de corriente CA . . . . .	8
2.4.1. Allegro ACS712 . . . . .	8
2.4.2. LEM LTS15-NP . . . . .	9
2.5. Muestreo de señales y filtros antialiasing . . . . .	10
2.5.1. Filtros Antialiasing . . . . .	11
<b>3. Implementación</b>	<b>13</b>
3.1. Microcontrolador . . . . .	13
3.2. Firmware . . . . .	14
3.2.1. Lenguaje y Compilador . . . . .	14
3.2.2. Organización del Firmware . . . . .	14
3.2.3. Inicialización . . . . .	16
3.3. Reset . . . . .	16
3.4. Descripción funcionamiento del firmware . . . . .	16
3.4.1. Adquisición puntos de muestreo . . . . .	17
3.4.1.1. Timer 1 . . . . .	17
3.4.2. Cálculo tensión y corriente eficaz (RMS) . . . . .	18
3.4.3. Cálculo desfase entre tensión y corriente . . . . .	19
3.4.4. Cálculo potencia activa y energía . . . . .	20
3.4.4.1. Timer 0 para calcular Energía . . . . .	21
3.5. Conversores analógico digital . . . . .	21

3.5.1. Características y comunicación serial AD7450 . . . . .	22
3.5.2. Características y comunicación serial ADS7817 . . . . .	23
3.5.3. Conversión de datos adquiridos . . . . .	24
3.6. Display . . . . .	24
3.7. Memoria EEPROM interna PIC . . . . .	25
3.8. Memoria externa 24C32 . . . . .	25
3.8.1. Funcionamiento en el sistema . . . . .	25
3.9. Reloj en Tiempo Real DS3231 . . . . .	26
3.10. Bluetooth HC-05 . . . . .	27
3.11. Aplicación Android . . . . .	29
<b>4. Ruido en el sistema</b>	<b>33</b>
4.1. Tipos de ruido . . . . .	33
4.1.1. Ruido Conducido . . . . .	33
4.1.2. Ruidos Radiados . . . . .	34
4.2. Circuito Oscilador . . . . .	34
4.3. Puertos I/O . . . . .	35
4.3.1. Puertos I/O no utilizados . . . . .	35
4.3.2. Puertos I/O utilizados pero con extenso cableado en medio hostil . . . . .	35
4.4. Capacitores de bypass . . . . .	36
4.4.1. Ubicación física del capacitor . . . . .	36
4.4.2. ¿Qué tipo de Capacitor utilizar? . . . . .	37
4.4.3. ¿Qué valor utilizar? . . . . .	37
4.5. Eliminación ruido del sistema de medición . . . . .	38
<b>5. Conclusiones</b>	<b>43</b>
5.1. Conclusión . . . . .	43
5.2. Trabajos futuros . . . . .	43
<b>6. Bibliografías y referencias</b>	<b>45</b>
<b>A. Anexo A. Manual de usuario aplicación: EnergyHome</b>	<b>47</b>



# Índice de figuras

1.1.	Bloques principales del Medidor de Energía . . . . .	4
2.1.	Esquema simplificado AMC1200B . . . . .	7
2.2.	Circuito de aplicación sensado de 220 V CA . . . . .	7
2.3.	Circuito de aplicación fabricante AMC1200 . . . . .	8
2.4.	Esquema simplificado LEM LTS15-NP . . . . .	9
2.5.	Gráfica salida vs corriente: LEM LTS15-NP . . . . .	10
2.6.	Respuesta en frecuencia de señales . . . . .	11
3.1.	Pinout PIC18F4550 . . . . .	14
3.2.	Máquina de estado firmware Medidor de energía . . . . .	15
3.3.	Circuito Reset conectado a MCLR . . . . .	16
3.4.	Grafica señal Tension (azul) y Corriente (verde) . . . . .	17
3.5.	Diagrama de flujo cálculo tensión eficaz . . . . .	19
3.6.	Corriente (verde) adelanta tensión (azul) . . . . .	20
3.7.	Conexión Amplificador de Aislamiento con Conversor AD7450 . . . . .	22
3.8.	Conexión LEM LTS15-NP con Conversor ADS7817 . . . . .	22
3.9.	Gráfica de salida vs Entrada AD7450 . . . . .	23
3.10.	Diagrama de tiempo comunicación serial AD7450 . . . . .	23
3.11.	Diagrama de tiempo comunicación serial AD7817 . . . . .	24
3.12.	Capacitor de filtro . . . . .	26
3.13.	Diagrama control mes actual . . . . .	27
3.14.	Conexion PIC con módulo HC-05 . . . . .	28
3.15.	Diagrama control Bluetooth . . . . .	29
3.16.	Recepción 12 meses de consumo . . . . .	30
3.17.	Recepción información variada . . . . .	31
3.18.	Manipulación "consumos.txt" . . . . .	32
4.1.	Ruido montado y picos de tensión . . . . .	34
4.2.	Layout típico recomendado para el circuito Oscilador . . . . .	35
4.3.	Supresores de picos. . . . .	36
4.4.	Ubicación correcta de los capacitores de Bypass . . . . .	37
4.5.	Corriente baja sin micro . . . . .	38
4.6.	Corriente baja con micro sin capacitores . . . . .	39
4.7.	Corriente baja con micro sin capacitores . . . . .	39
4.8.	Corriente alta con micro con capacitores . . . . .	40
4.9.	Corriente alta con micro con capacitores . . . . .	40
A.1.	Código QR para descarga de aplicación . . . . .	47
A.2.	Pantalla configuración del Bluetooth Android . . . . .	48
A.3.	Pantalla principal de EnergyHome . . . . .	48

A.4. Ventana consumo mensual de EnergyHome . . . . .	49
A.5. Ventana configuración de EnergyHome . . . . .	49
A.6. Ventana lista meses de EnergyHome . . . . .	49
A.7. Ventana menú desplegable de EnergyHome . . . . .	50
A.8. Ventana información de EnergyHome . . . . .	50

# Índice de cuadros

2.1. Salida vs corriente: Allegro ACS712 . . . . .	9
2.2. Salida vs corriente: LEM LTS15-NP. . . . .	10
3.1. Tabla de transiciones . . . . .	15
3.2. Entrada voltajes y código de salida ideal . . . . .	24
3.3. Conversión de datos . . . . .	24



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Medidor de energía

Un medidor de energía, o dicho de otro modo un contador de consumo eléctrico, es un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica de un circuito o un servicio eléctrico, siendo éste su objetivo específico. Normalmente están calibrados en unidades de facturación, siendo la más común el kilovatio-hora [kWh].

Existen contadores electromecánicos y electrónicos. Los 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 del cuadrante. Los contadores electrónicos deben acondicionar y medir tensiones y corrientes, para luego realizar cálculos y llegar al mismo resultado que los anteriores.

Para un estudio más detallado, solo serán de interés los medidores de energía electrónicos, que tienen como elemento principal un micro-controlador.

#### 1.1.1. Medidor de energía unidireccional

Los **Medidores de energía unidireccionales** se encargan de llevar la cuenta de la energía consumida al proveedor, pero no tienen la capacidad de registrar la cantidad de energía que el consumidor le pudiese estar inyectando a la red del proveedor con algún tipo de generador, llamando a esta práctica como Generación Distribuida. Estos dispositivos entonces, se encuentran limitados a la hora de conocer el sentido de la corriente respecto a la tensión (ya que se está hablando de CA).

#### 1.1.2. Medidor de energía bidireccional

Los **Medidores de energía bidireccionales** comparándolos con los mencionados anteriormente, tienen la misma función a la hora de contar la energía consumida por el usuario, pero además pueden medir la energía que el usuario inyecta a la red sin obligación de modificar ningún parámetro. La utilidad de estos tipos de dispositivos nace de la necesidad de la generación de energía eléctrica con recursos renovables, como puede ser el sol, el viento, etc.

La generación eléctrica con recursos renovables, no solo reduce el costo final de consumo para un cliente, sino que también trae ventajas para la sociedad donde se lo utiliza reduciendo la contaminación, como así también al proveedor que se le inyecte. Por ello, es muy importante un sistema que permita medir el desfasaje de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  entre la tensión y la corriente, para saber el sentido de la potencia (consumida o entregada). En términos de contaminación, es preferible

muchos generadores de energía renovables pequeños que no generan residuos, a un generador central de gran tamaño que llega a ser muy contaminante.

## 1.2. Estado del Arte

En este momento, en el mercado nacional, se pueden obtener solo medidores de energía electrónicos unidireccionales provistos por el prestador del servicio, que solo tienen la capacidad de medir la energía entregada por la red de distribución eléctrica. Estos dispositivos no sirven para la **Generación Distribuida**.

La **Generación Distribuida** (GD) se define como aquella que se conecta a la red y se caracteriza por encontrarse instalada en puntos cercanos al consumo. Sus características generales son:

- Reducen pérdidas en la red al reducir los flujos de energía por la misma.
- Su energía vertida no revierte flujos hacia la red de transporte.
- Suelen tener potencias superiores a 3 kW aunque en general no sobrepasan los 10 kW de potencia instalada.

No existe consenso, a nivel mundial ni europeo, sobre qué es exactamente la GD, puesto que son múltiples los factores que afectan a su definición: tecnologías empleadas, límite de potencia, conexión a la red, etc.

El DPCA (*Distribution Power Coalition of América*) la define como, cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más cercanos al consumidor que la generación centralizada y que se puede conectar directamente al consumidor o a la red de transporte o distribución. Por otro lado, la Agencia Internacional de la Energía (IEA, *International Energy Agency*) considera como GD, únicamente, la que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia a tecnologías como los motores, mini- y microturbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica.

Además, se plantea un dispositivo “inteligente”, que tenga la capacidad de entregarle, tanto al usuario como al proveedor, el consumo y diferentes valores útiles en tiempo real de manera inalámbrica (el usuario por medio de Bluethoot y el proveedor por medio de protocolo en desarrollo con zigbee) sin necesidad de buscarlos en el lugar de instalación del sistema como suele hacerse en la actualidad.

En cuanto la información que se puede encontrar sobre el tema, es muy limitada, ya que solo son pruebas caseras con un fin hobbista, aunque todo tipo de información fue de ayuda para encaminar la investigación y desarrollo del sistema. Se debe recordar, que lo mas importante del sistema, además de la medición de alta tensión y corriente, es que debe estar aislado de la parte digital, donde se encuentra el microcontrolador, los ADCs, etc.

## 1.3. Objetivo y Justificación

El presente trabajo consiste en diseñar e implementar un sistema de medición de energía bidireccional inteligente. El concepto de bidireccional hace referencia a medir la energía absorbida de la red y también la energía entregada en el caso de contar con un generador de energía renovable.

Además de medir potencia, el sistema contará con comunicación bluetooth y zigbee, por lo cual se debe desarrollar una aplicación para Android. Dicha aplicación contará con el consumo total, el instantáneo, como así también la corriente entregada por la red o la corriente entregada a la red y avisos de alto consumo configurable.

El hardware del sistema, además de tener el bloque de medición dispondrá de una pequeña pantalla LCD y pulsador, con un menú en el cual se podrá seleccionar la información requerida.

El objetivo final del sistema está dirigido a la “Generación eléctrica distribuida en Argentina”, la cual por el momento no hay una regulación a nivel nacional sobre la energía renovable distribuida para pequeños sistemas conectados a la red. A pesar de ello, algunos estados provinciales han avanzado de manera individual en legislación local para promover este tipo de generación en sus territorios. El diputado nacional Juan Carlos Villalonga presentó en el Congreso un proyecto de Generación Distribuida y se esperan avances en los próximos meses. Para mayor información el proyecto de ley es el S-2448/15.

### 1.3.1. Diagrama en bloques del sistema

El diseño, que se ve en la Figura 1.1, estará conformado de la siguiente manera:

- **Microcontrolador:** es quién será el encargado de gestionar todo el funcionamiento del sistema.
- **Etapas de acondicionamiento:** se utilizarán integrados y componentes discretos para acondicionar el nivel de las tensiones de las señales analógicas medidas que ingresan a los conversores ADC.
- **LCD:** encargado de mostrar la energía en kWh y Wh, la tensión RMS, la corriente RMS y además el factor de potencia.
- **Pulsador:** se podrá seleccionar con el pulsador la información, comentada en el ítem anterior, que se desea ver.
- **RTC:** este dispositivo es un reloj en tiempo real que permite llevar la medida del tiempo de forma externa. Podrá ser configurado desde la aplicación de Android.
- **ADC 12 bits:** se utilizan 2 ADC externos de 12 bits, por donde se analizan las señales de tensión y de corriente que ingresan al dispositivo.
- **Bluethoot/zigbee:** se utilizan dos módulos de comunicación de bajo consumo, y bajo costo para mantener informado al usuario de una manera sencilla. Con el bluethoot se enviará información cada vez que el usuario lo desee con la aplicación que será creada, además el usuario podrá configurar avisos de consumo. La utilidad del módulo zigbee se definirá más adelante.

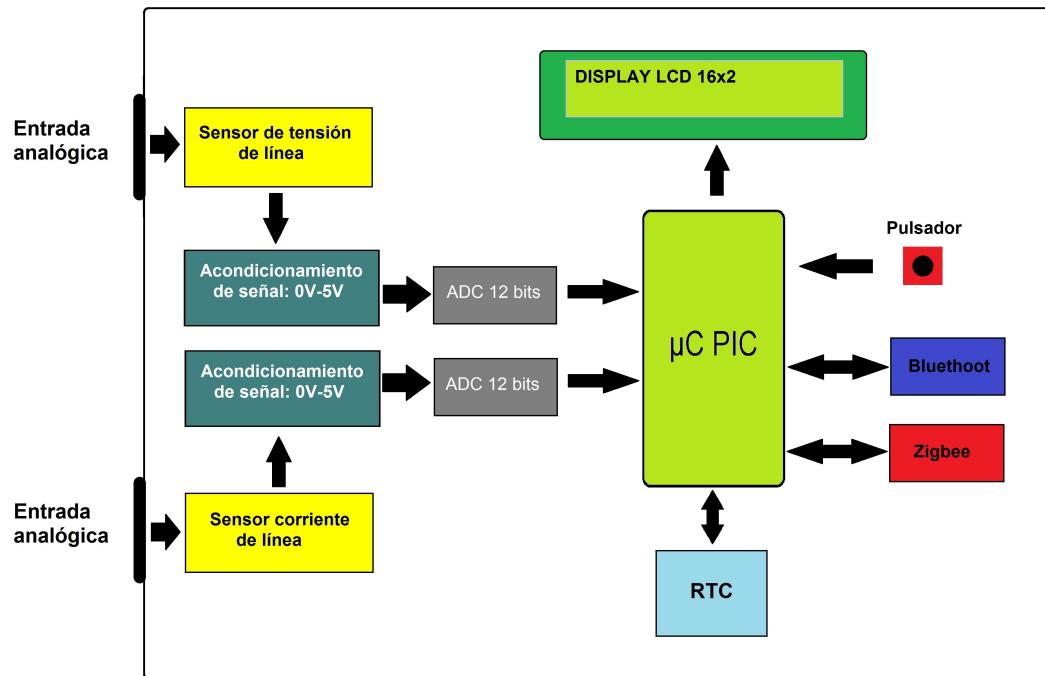


Figura 1.1: Bloques principales del Medidor de Energía.

# Capítulo 2

## Acondicionamiento de señal

### 2.1. Introducción

Muchas aplicaciones implican medidas ambientales o estructurales mediante sensores, como es el caso de la temperatura y las vibraciones. Estos sensores, a su vez, requiere el acondicionamiento de las señales antes de que un dispositivo de adquisición de datos pueda medir con eficacia y precisión la señal. El acondicionamiento de señal es uno de los componentes más importantes de un sistema de adquisición de datos; ya que, sin la optimización de las señales del mundo real para el digitalizador que se esté utilizando, no se puede confiar en la exactitud de la medida.

Las necesidades de acondicionamiento de las señales varían ampliamente dependiendo de la funcionalidad del sensor, por lo que ningún instrumento puede proporcionar todo tipo de acondicionamiento para todos los sensores. Por ejemplo, los termopares producen señales de muy baja tensión, lo cual requiere linealización, amplificación y filtrado, mientras que otros necesitan excitación. Otras señales pueden no necesitar ninguna de ellas, sino que se basan en gran medida en el **aislamiento de alta tensión**. La clave para lograr un exitoso sistema de acondicionamiento de señales es entender los circuitos que son necesarios para garantizar una medida precisa.

### 2.2. Fundamentos del acondicionamiento de señales

A continuación, se nombran y definen los fundamentos utilizados en el sistema de Medición de Energía.

#### 2.2.1. Atenuación

La atenuación, que es lo contrario que la amplificación, se necesita cuando las tensiones que se van a digitalizar están fuera del rango del ADC. Esta forma de acondicionamiento de la señal disminuye la amplitud de la señal de entrada de modo que la señal acondicionada quede dentro del rango de tensión del ADC. La atenuación es típicamente necesaria cuando se miden tensiones de más de 10 V.

#### 2.2.2. Filtrado

Los filtros rechazan el ruido no deseado dentro de un determinado rango de frecuencias. A menudo, los filtros paso-bajo se utilizan para bloquear el ruido de las medidas eléctricas, tales como el procedente de los 50/60 Hz de la red eléctrica. Otro uso común del filtrado es

evitar el “aliasing” de las señales de alta frecuencia. Esto se puede hacer mediante el uso de un filtro “anti-aliasing” que atenúan las señales por encima de la frecuencia de Nyquist. Los filtros anti-alias son un tipo de filtro paso-bajo que se caracteriza por tener una banda de paso plana y una caída rápida.

### 2.2.3. Aislamiento

Señales de tensión que están bastante fuera del rango del digitalizador pueden dañar al sistema de medida y al operador. Por esa razón, se requiere generalmente el aislamiento junto con la atenuación para proteger al sistema y al usuario de las tensiones peligrosas o de los picos de tensión. El aislamiento también puede ser necesario cuando el sensor está en un plano de tierra diferente del sensor de medida, tal como ocurre con un termopar montado en un motor.

## 2.3. Acondicionamiento en tensión CA

### 2.3.1. Amplificador de aislamiento

Para acondicionar la tensión de línea de 220 V CA al rango de un Conversor Analógico-Digital (ADC) externo de 0 V a 5 V, se utiliza un amplificador de aislamiento y un divisor resistivo que reduce la tensión alterna al valor de entrada que admite el integrado. Dicho amplificador es el AMC1200B fabricado por Texas Instruments, su ventaja e importancia es la posibilidad de aislar la etapa de potencia de la etapa digital.

#### 2.3.1.1. Descripción

El AMC1200B es un amplificador de aislamiento de precisión con una salida separada del circuito de entrada por una barrera de dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) que es altamente resistente a la interferencia magnética. Esta barrera ha sido certificada para proporcionar aislamiento galvánico de hasta 4250 V<sub>PICO</sub>. Usado en conjunto con fuentes de alimentación aisladas, este dispositivo evita que el ruido de una línea de alto voltaje de modo común entren en la tierra local e interfieran y dañen circuitos sensibles.

La entrada del AMC1200B está optimizada para la conexión directa a una resistencia shunt u otra fuente de señal de baja tensión. Dicha señal de entrada debe ser como máximo de  $\pm 250mV$ . El dispositivo consiste de un modulador de entrada delta-sigma de segundo orden incluyendo una tensión de referencia y un generador de clock. La salida del modulador y señal de clock se transmiten diferencialmente a través de la barrera capacitiva integrada que separa las etapas de alta y baja tensión. La trama de bits recibida y la señal de clock son sincronizadas y procesadas por un filtro analógico de tercer orden con una ganancia nominal de 8 del lado de baja tensión y es presentada como una salida diferencial del dispositivo (VOUTP y VOUTN).

El voltaje de modo común de la señal de salida es ajustada automáticamente ya sea para 3 V o 5 V dependiendo de la tensión de alimentación. Para entender lo antes comentado, se puede analizar la Figura 2.1.

#### 2.3.1.2. Circuito utilizado AMC1200B

Para medir tensión se utiliza el circuito que se muestra en la Figura 2.2, dicho circuito es recomendado por el fabricante para utilizar una resistencia shunt. Para una mejor performance, la señal de entrada diferencial es filtrada usando filtros RC (componentes R4, R7 y C6). Se utilizan los capacitores C8 y C11 para reducir la carga desde las entradas. En este diseño, se

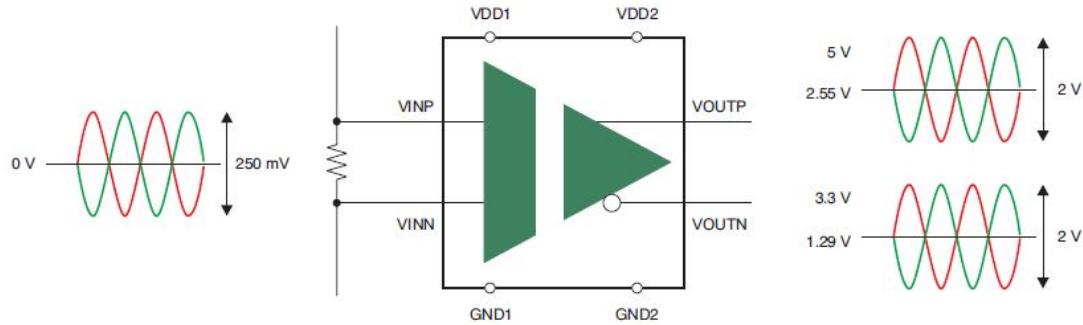


Figura 2.1: Esquema simplificado AMC1200B

debe tener sumo cuidado al elegir la calidad de los condensadores; el desajuste en los valores de estos conduce a un error de modo común en la entrada del modulador. Como en principio se está diseñando un prototipo y no un producto final, no se le da mayor importancia pero sí se lo tiene en cuenta para analizar los diferentes errores en los próximos capítulos. El circuito de la Figura 2.2, al que se hizo referencia, no es exactamente igual al que recomienda el fabricante (Figura 2.3), si se analiza en detalle, la modificación que se realiza del circuito original, es la desvinculación de la tierra de una de las entradas de tensión diferencial de la resistencia shunt (Potenciómetro  $2k\Omega$ ) en la alimentación de la parte de potencia para evitar el ruido que pueda introducir la tierra en la medida. Obviamente, en el circuito utilizado se tiene el ADC externo con entrada diferencial necesario para una medida óptima, ya que se podrían utilizar otros métodos de medición pero son menos precisos y más lentos.

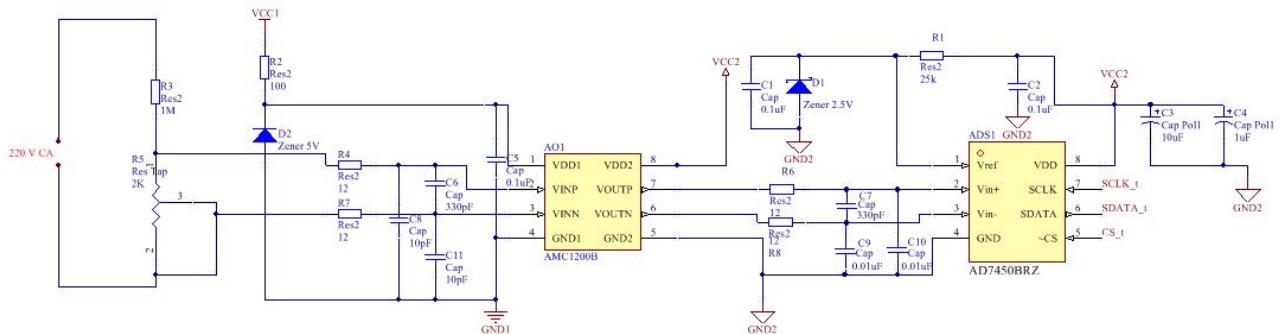


Figura 2.2: Circuito de aplicación sensado de 220 V CA

### 2.3.1.3. Divisor resistivo 220 V CA

Por último, en el acondicionamiento de tensión se debe reducir la tensión alterna de 220 Vrms, con picos de  $311.13\text{ V}$  ( $220\text{ V} \cdot \sqrt{2}$ ), a una tensión alterna máxima de 250 mV de picos, esto se logra a partir de un divisor resistivo conformado por la resistencia R3 de  $1\text{ M}\Omega$  y el potenciómetro R5 de  $2\text{ k}\Omega$ . El potenciómetro es utilizado para una calibración más fina una vez que el prototipo esté funcionando, pero se realiza el cálculo para aproximar el valor resistivo que debería tener en la Ecuación 2.1. No se tiene en cuenta la resistencia del AMC1200 ya que la misma es muy grande y no carga al divisor resistivo.

$$250mV = \frac{311,16V \cdot R5}{R5 + 1M\Omega} \Rightarrow R5 = 804,09\Omega \quad (2.1)$$

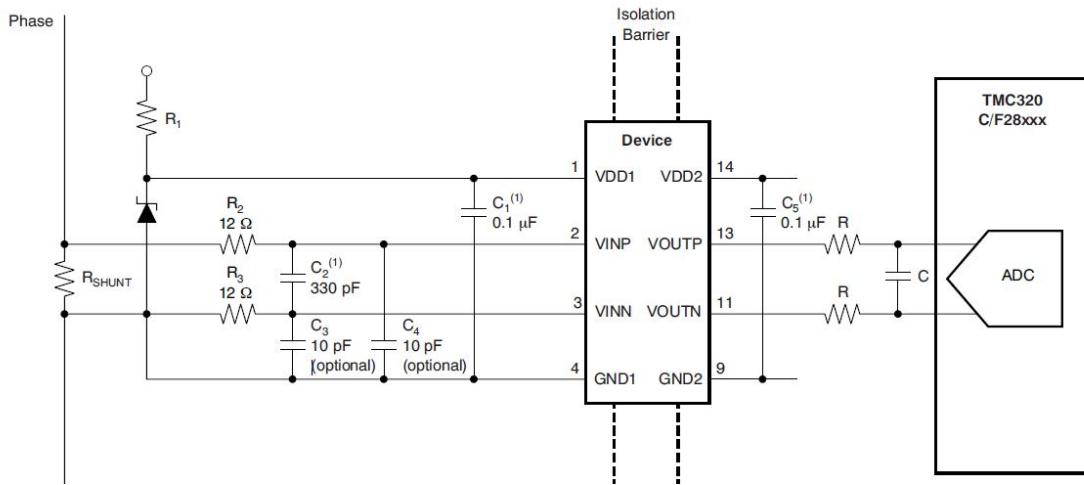


Figura 2.3: Circuito de aplicación fabricante AMC1200

## 2.4. Acondicionamiento de corriente CA

Para el acondicionamiento de la señal de corriente, se utilizaron dos sensores, donde luego se eligió el de mayor precisión para el diseño final. Es notable que la complejidad para el acondicionamiento de la corriente es mucho menor, ya que los sensores de efecto Hall solucionan y reducen el circuito externo entregando una señal de salida de 0 a 5 V completamente acondicionada para cualquier tipo de ADC comercial. Los integrados son Allegro ACS712 y el que contiene el prototipo final LEM LTS15-NP, ambos basados en el efecto Hall.

### 2.4.1. Allegro ACS712

El sensor de corriente Allegro ACS712 proporciona una solución económica y precisa para sensar corrientes CA o DC en sistemas industriales, comerciales o de comunicación.

El dispositivo es un sensor de efecto Hall, preciso, con una resistencia interna de  $1.2 \text{ m}\Omega$ . Sus principales características son:

- El ancho de banda de la señal se establece mediante el filtro externo
- $5 \mu\text{s}$  de tiempo de respuesta
- Ancho de banda de 80kHz
- Error de salida total de 1.5 % a  $\text{TA}=25^\circ\text{C}$
- $2.1 \text{ kV}_{\text{RMS}}$  voltaje de aislamiento mínimo
- Sensibilidad de salida de 66 a 185 mV/A
- Tensión de salida extremadamente estable
- Histéresis magnética cercana a cero.

Para el sistema de adquisición se utiliza el sensor descrito configurado para un rango de medición de  $\pm 30 \text{ A}$ . El sensor entrega una tensión de salida de 0 V a 5 V, siguiendo el Cuadro 2.1 se puede analizar el comportamiento lineal del dispositivo de sensado.

Corriente In	Tensión Out
-30 A	0 V
-15 A	1.25 V
0 A	2.5 V
15 A	3.75 V
30 A	5 V

Cuadro 2.1: Salida vs corriente: Allegro ACS712.

### 2.4.2. LEM LTS15-NP

El LEM LTS15-NP es un transductor utilizado para la medición electrónica de corrientes: CC, CA, pulsante, o mixta; con aislamiento galvánico entre el circuito primario (alta potencia) y el circuito secundario (circuito electrónico), en la Figura 2.4 se presenta un esquema básico del transductor mencionado.

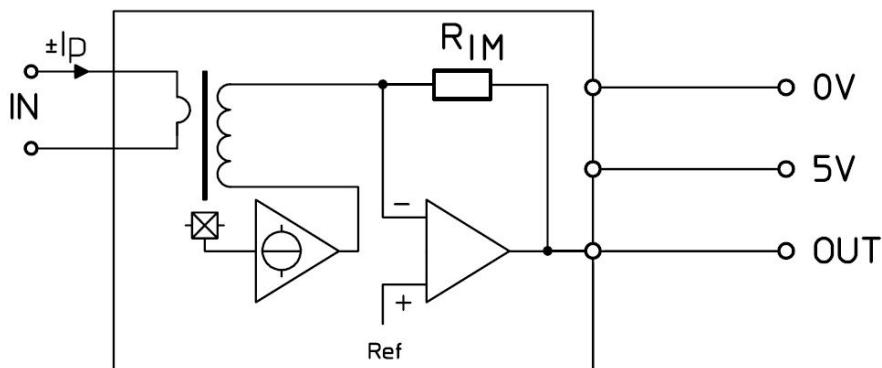


Figura 2.4: Esquema simplificado LEM LTS15-NP

El rango de medición es de  $\pm 48$  A, con una sensibilidad de 41.6 mV/A, soportando corrientes hasta 250 A. La tensión de salida se comporta como el sensor anterior, para corrientes iguales a cero entrega una tensión de 2.5 V, para una corriente de 48 A entrega una tensión de 5 V, y para corrientes iguales a -48 A entrega una tensión de 0 V (Cuadro 2.5). Además en la Figura 2.5 se tiene la gráfica proporcionada por el fabricante de la Tensión de salida vs Corriente del LEM LTS15-NP.

Para el prototipo se utiliza este último porque presenta varias ventajas respecto al Allegro, las cuales se detallan en la siguiente lista:

- Mayor rango de medición, permitiendo medir hasta los valores máximos de corrientes en los hogares promedios.
- No requiere circuito externo, es decir, el transductor solo requiere alimentación para funcionar.
- Excelente exactitud y muy buena linealidad.
- Alta inmunidad al ruido, completamente necesario en este sistema ya que se está sensado directamente sobre la red, que es extremadamente ruidosa.

Corriente In	Tensión Out
-48 A	0.5 V
-15 A	1.875 V
0 A	2.5 V
15 A	3.125 V
48 A	4.5 V

Cuadro 2.2: Salida vs corriente: LEM LTS15-NP.

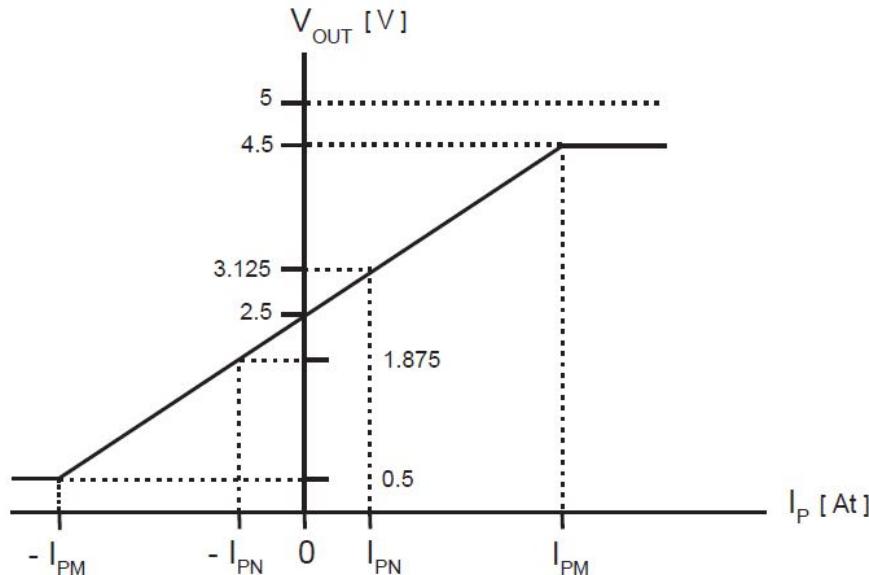


Figura 2.5: Gráfica salida vs corriente: LEM LTS15-NP

- Permite una gran corriente de sobrecarga o cortocircuito, permitiendo que se active algún dispositivo de seguridad, como puede ser una llave termomagnética, sin que el transductor reciba algún daño.

## 2.5. Muestreo de señales y filtros antialiasing

Cuando se desea tomar muestras de señales la consideración central es la elección de la tasa de muestreo (también llamada frecuencia de muestreo), es decir la cantidad de muestras a tomar por unidad de tiempo. Veremos que si se desea posteriormente reconstruir la señal o procesarla en forma asimilable a un procesador analógico (amplificación, filtrado, compresión, etc) será necesario muestrearla a una tasa mayor o igual que el doble de la máxima frecuencia presente en la señal, de esto habla el Teorema de Nyquist.

**Teorema de Nyquist:** establece que para poder reconstruir una señal muestreada la velocidad de muestro debe ser al menos el doble de la mayor de las componentes de la señal muestreada:

$$F_S \geq 2.F_{MAX}$$

En la práctica se toma al menos entre 3 y 5 veces mayor que la frecuencia máxima. En este caso la frecuencia de las señales a muestrear es de 50 Hz, y la frecuencia de muestreo elegida es de 1 kHz, 20 veces mayor que la frecuencia máxima.

### 2.5.1. Filtros Antialiasing

El teorema de muestreo solo tiene en cuenta las señales de banda limitada, pero se debe tener en claro que en la práctica estas no existen, por lo cual se necesita algún tipo de filtro, generalmente pasa bajos, que evite el solapamiento (aliasing), este solapamiento puede generar una gran cantidad de errores considerables. En los circuitos anteriores, de las Figuras 2.2 y Figura 2.3, los filtros antialiasing pueden verse en los pares RC que se tienen entre los integrados de sensado/aislamiento y los ADC. En la Figura 2.6 se puede ver la diferencia en la Respuesta en Frecuencia de una señal ideal de una real.

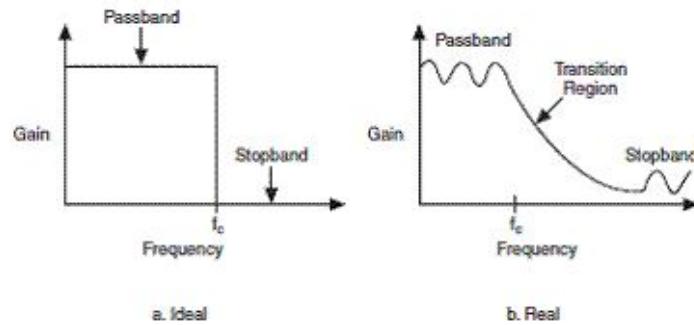


Figura 2.6: Respuesta en frecuencia de señales



# Capítulo 3

## Implementación

### 3.1. Microcontrolador

Para realizar el sistema Medidor de Energía se utilizó el microcontrolador **PIC18F4550** de la firma **Microchip** debido a su frecuencia de trabajo, el soporte y además que la programación es en lenguaje C. Dentro de sus características se encuentran:

- Memoria de programa de 32Kb.
- Memoria RAM de Datos de 2Kb.
- Memoria EEPROM de Datos de 256 bytes.
- 35 líneas de E/S.
- Módulos SPI, I2C, USB.
- Conversor Analógico Digital de 10 bits.
- 4 temporizadores.
- Frecuencia de operación hasta 48 MHz.
- 20 fuentes de interrupciones.

De los recursos que provee el microcontrolador ( $\mu$ C), se utilizan los timers, pines de entrada-salida, comunicación I2C, memoria EEPROM e interrupciones.

El microcontrolador opera a una frecuencia de 48MHz, se elige esta frecuencia por la gran cantidad de cálculos con valores flotantes que debe realizar, además de la adquisición de datos que se hace a partir de ADC externos con comunicación SPI. Sumándose a las tareas anteriores se debe respetar rigurosamente la frecuencia de muestreo de 1 kHz, es decir, un punto de muestra cada 1 mS, la acción más crítica del sistema.

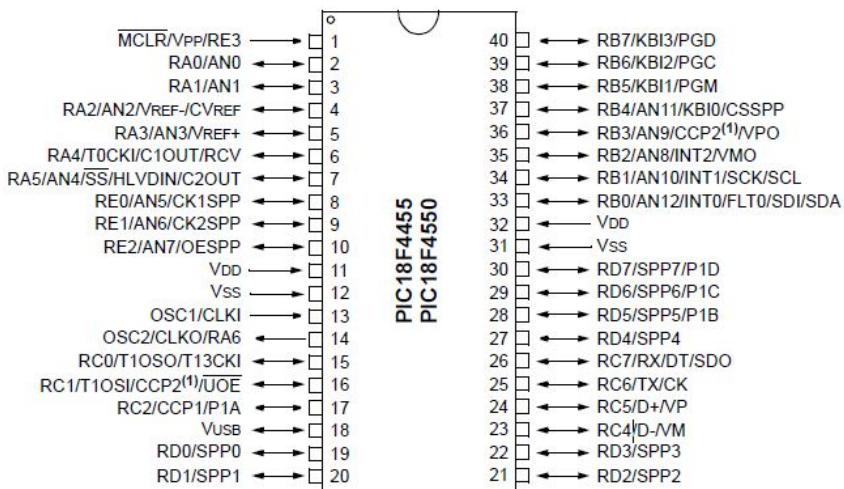


Figura 3.1: Pinout PIC18F4550

## 3.2. Firmware

El firmware es un bloque de instrucciones de máquina para propósitos específicos, grabado en una memoria, normalmente de lectura/escritura (ROM, EEPROM, FLASH,etc.), que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo. Está fuertemente integrado con la electrónica del dispositivo siendo el software que tiene interacción directa con el hardware: es el encargado de controlarlo para ejecutar correctamente las instrucciones externas.

### 3.2.1. Lenguaje y Compilador

El desarrollo del firmware se llevó a cabo mediante el lenguaje C usando un cross-compilador de la firma CCS<sup>TM</sup> y sus librerías correspondientes para el uso de funciones de buses y comunicación (I2C, EEPROM, IO,etc). La comunicación del proyecto dejó una ocupación de memoria de programa (FLASH ROM) del 25% permitiendo agregar nuevas funciones o características para futuros prototipos.

### 3.2.2. Organización del Firmware

Para organizar el firmware que hace funcionar el Medidor de Energía se utiliza una máquina de estado. Una **Maquina de Estado** es una estructura de programa que nos sirve para determinar el comportamiento de algo en base al estado en el que este se encuentra. Para cada estado por tanto se tendrá un comportamiento (que en algunos casos solo puede ser un control).

Las máquinas de estados se pueden utilizar en muchos aspectos y niveles. En este caso, como se utiliza para describir el código del firmware, es un nivel bajo porque dicho programa es quien interactúa directamente con el hardware del sistema. Siempre que se piense en utilizar una máquina de estados es recomendable dibujar primero un diagrama, el cual se compone de estados y transiciones, utilizado para disminuir la complejidad en la estructura del código. El diagrama de estado del Medidor de Energía puede verse en la Figura 3.2.

Las transiciones de los estados se dan o no dependiendo de valores de variables o tiempos transcurridos en cada estado. Se debe tener en cuenta que en esta maquina solo se describe el programa principal y no las interrupciones que son una rama principal para el funcionamiento del sistema.

A continuación se explica las tareas llevadas a cabo por cada uno de los estados descrito en la Figura 3.2:

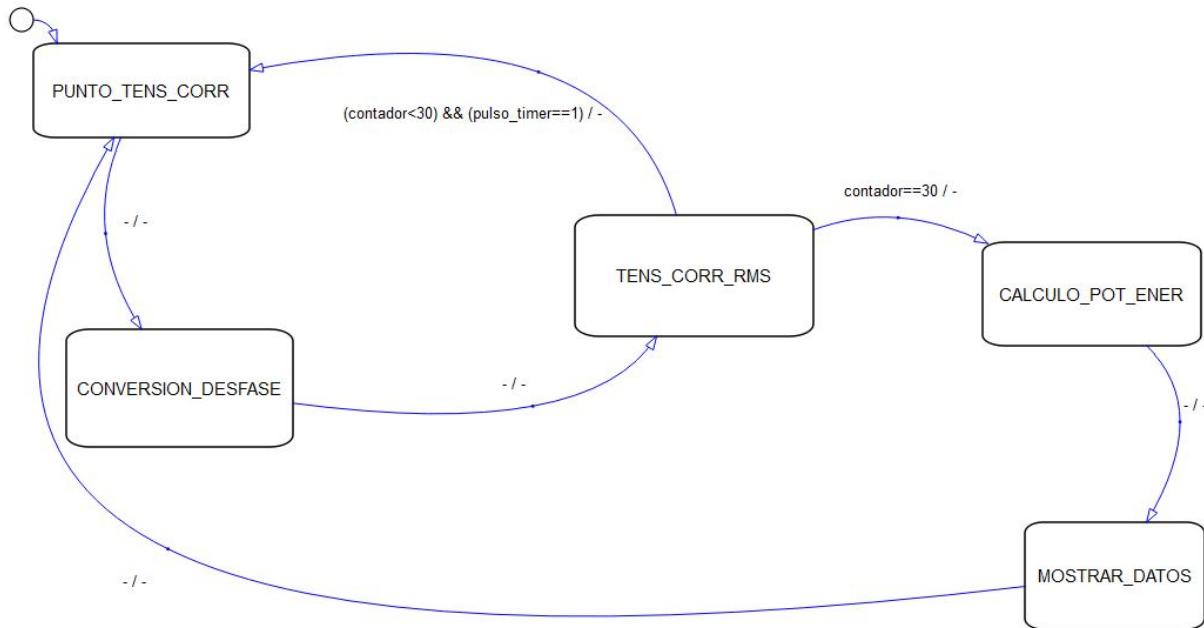


Figura 3.2: Máquina de estado firmware Medidor de energía

- **PUNTO\_TENS\_CORR**: Adquiere el valor de tensión y el valor de corriente de los ADC, aunque esta tarea se realiza en la interrupción del timer 1 cada 1 mS, repitiéndose nuevamente la ejecución de la máquina de estado de la Figura 3.2, para así tener una frecuencia de muestreo de 1 kHz.
- **CONVERSION\_DESFASE**: Realiza la conversión de los dos datos obtenidos en PUNTO\_TENS\_CO a valores reales de tensión y corriente (valores físicos medidos), además controla el cruce por cero de ambas señales para luego calcular el desfase entre las mismas.
- **TENS\_CORR\_RMS**: Se inicia con la sumatoria de las tensiones y corrientes al cuadrado punto a punto para luego en un próximo estado calcular los valores eficaces. También se calcula el valor medio de la corriente para eliminar el offset.
- **CALCULO\_POT\_ENER**: En este estado a partir de la tensión eficaz, la corriente eficaz, y el desfase entre señales se puede obtener la potencia instantánea en el periodo muestreado, luego con solo saber el tiempo transcurrido alcanza para obtener la energía.
- **MOSTRAR\_DATOS**: Se encarga de mostrar por el display los datos requeridos por el usuario, además de controlar la botonera con la cual se puede desplazar por el menú.

Estado actual	Evento	Próximo estado
PUNTO_TENS_CORR	-	CONVERSION_DESFASE
CONVERSION_DESFASE	-	TENS_CORR_MS
TENS_CORR_RMS	contador<30 y pulso_timer=1	PUNTO_TENS_CORR
TENS_CORR_RMS	contador=30	CALCULO_POT_ENER
CALCULO_POT_ENER	-	MOSTRAR_DATOS
MOSTRAR_DATOS	-	PUNTO_TENS_CORR

Cuadro 3.1: Tabla de transiciones

### 3.2.3. Inicialización

Cuando el sistema es conectado a la alimentación su estado de **reset** o conocido es **PUNTO TENS CORR**, esto quiere decir que cuando el dispositivo encienda luego de un reset y de las configuraciones iniciales, el primer estado en el cual se posicionará es el antes nombrado.

Analizando la sección 3.2.2, se debe resaltar que en la máquina de estado ninguna de las transiciones dependen de eventos externos al dispositivo, todos los controles y transiciones dependen del tiempo, cantidad de medidas o finalización de tareas en un estado. Que el dispositivo dependa de acciones externas, como puede ser un botón de inicio que debe ser presionado por un prestador de servicios o cliente es un grave error, ya que la medición del consumo o entrega podría ser detenido de manera externa manipulando la medición, por esta razón lo único que puede hacer el usuario es desplazarse por el menú principal para evitar dichos problemas.

## 3.3. Reset

El circuito de Reset que puede verse en la Figura 3.3, recomendado por **Microchip** en la hoja de datos del **PIC 18F4550**, permite efectuar una reinicialización del dispositivo de una única manera, mediante un Reset que se genera de forma automática cada vez que el dispositivo es alimentado.

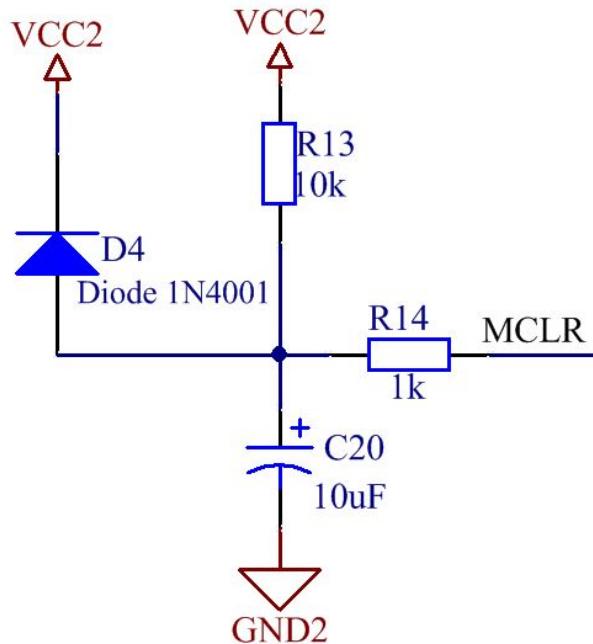


Figura 3.3: Circuito Reset conectado a MCLR

El circuito externo de reset Power/on sólo es necesario si la pendiente de encendido de VCC2 es demasiado lenta. El diodo D ayuda a descargar el condensador rápidamente cuando VCC2 se apaga.

## 3.4. Descripción funcionamiento del firmware

Para comenzar a explicar el funcionamiento detallado del firmware del sistema de Medición de Energía, se debe tener en cuenta que todos los cálculos y controles se realizan sobre un

periodo y medio, es decir, que se analiza 30 mS por vez de la señal de tensión y corriente a una frecuencia de 1kHz (una muestra cada 1mS a cada señal), lo que da un total de 30 puntos.

El análisis se realiza sobre un periodo y medio por razones que se explicarán luego, pero debe quedar en claro que el resultado no se modifica si se modifica la cantidad de periodos a analizar, lo que varía es el error que se introduce en el cálculo.

En la Figura 3.4 puede verse una gráfica de como podría presentarse en el tiempo la Tensión (señal azul) y la Corriente (señal verde), donde los círculos y cruces son los puntos de muestreo a cada señal, si dichos puntos se contabilizan dará un resultado de 60, 30 puntos por señal. Además, aunque en la gráfica los puntos de tensión y de corriente se toman al mismo tiempo, esto no es posible en la práctica ya que el microcontrolador realiza una única tarea por vez, el tiempo de diferencia que existe entre la adquisición de ambos puntos, es el tiempo de los ADC externos, de unos pocos microsegundos ( $\mu$ S) que son despreciables ya que se toma un punto cada 1 mS.

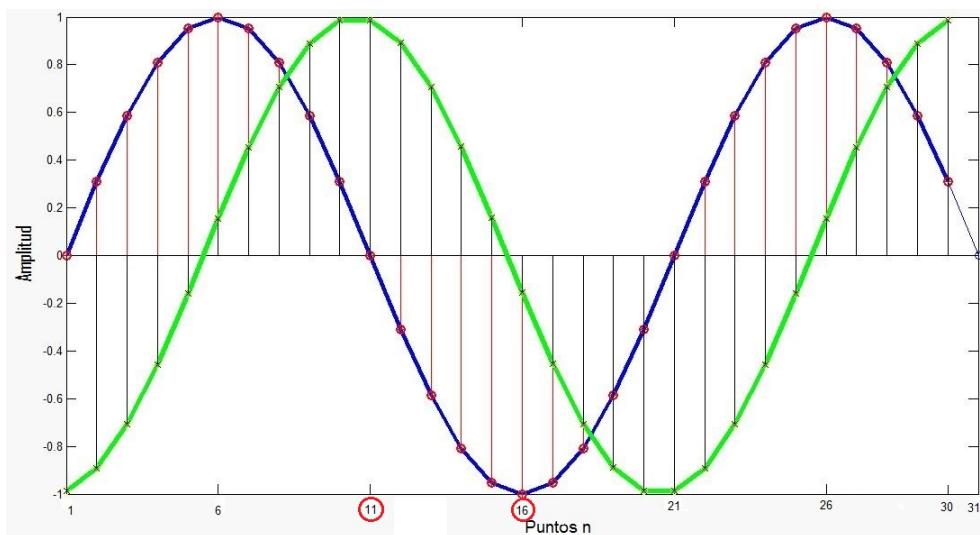


Figura 3.4: Grafica señal Tension (azul) y Corriente (verde)

### 3.4.1. Adquisición puntos de muestreo

Para la adquisición de los puntos se utilizan dos ADC con entrada diferencial externos de 12 bits. El conversor AD7450 de Analog Devices conectado a la salida del amplificador de aislamiento AMC1200 descripto en la sección 2.3.1 y el conversor ADS7817 de Texas Instruments conectado a la salida del sensor LTS 15-NP descripto en la sección 2.4.2. Ambos ADC tienen comunicación SPI la cual consta de 3 líneas, CS (chip select) utilizada para seleccionar el dispositivo a leer, SCLK generado por el  $\mu$ C para sincronizar la comunicación, y DATA por donde se transfieren los datos útiles.

#### 3.4.1.1. Timer 1

El módulo timer 1 es provisto por el  $\mu$ C y puede operar como temporizador o contador según sea el origen de los pulsos que deba contar. Está formado por dos registros de 8 bits y se incrementa desde 0000h a FFFFh. En el momento del desborde del timer la cuenta pasa de todos 1 a todos 0 pudiéndose producir una interrupción si la misma se encuentra habilitada.

En la adquisición de los valores de tensión y corriente se utiliza el Timer 1 y su interrupción, se configura el timer para que este interrumpa cada 1 mS, aunque los ajustes finales son

realizados con la herramienta **Stopwatch** provista por **MPLAB X** teniendo en cuenta las demoras correspondientes a la adquisición de datos con los ADC, siendo sencillo obtenerlo ya que depende directamente de la frecuencia del clock de la comunicación. Para obtener un valor de carga aproximado para el timer 1 se utiliza la expresión 3.1,  $T_{ADC}$  hace referencia a la demora de los ADC, 48 MHz es la frecuencia del cristal con el que se trabaja y 2 es el valor del preescaler con el que se configura el timer 1, llegando a un valor de carga de 60416 (0xEC00 en hexadecimal) aproximadamente.

$$1ms = (2^{16} - \text{carga\_timer1}) \cdot \frac{4 \cdot 2}{48MHz} - T_{ADC} \quad (3.1)$$

La interrupción del timer 1 se configura en alta prioridad para que el resto de las interrupciones no afecte la toma de los valores, ya que es la tarea más crítica del sistema, porque cualquier demora que no sea tenida en cuenta por el sistema llevaría a un error en el resultado final que a largo plazo podría resultar en inconvenientes para el usuario y el prestador del servicio.

Antes de continuar con el funcionamiento del sistema es necesario explicar de que se trata la prioridad en las interrupciones, y la forma de utilizarlas, por lo menos con el compilador de CCS.

Al utilizar la prioridad FAST se debe tener en cuenta que ya no se guardan los valores de los registros utilizados del  $\mu$ C, como por ejemplo, valores de variables que pueden ser eliminadas sin que esto se deseé. Con esta herramienta se gana en confiabilidad y velocidad reduciendo la latencia de las interrupciones (demora a ingresar a la rutina de interrupción), por lo cual dicha prioridad debe estar activada en tareas críticas de un proceso y no todo el tiempo, por ejemplo, en el caso de este proyecto solo se activa en la etapa de adquisición de datos donde se sabe que cada 1 mS se activará la interrupción.

### 3.4.2. Cálculo tensión y corriente eficaz (RMS)

Para el cálculo de la tensión y corriente eficaz se utiliza la expresión 3.2 que se extiende también para corriente.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} (V(t))^2 \cdot dt} \quad (3.2)$$

Como se discretizan ambas señales, es posible remplazar la integral, una suma infinita, por una sumatoria de puntos discretos, como se ve en la expresión 3.3.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t_0}^{t_0+T} (V(t))^2} \quad (3.3)$$

En este caso se saca el valor eficaz sobre un periodo y medio, en el código resulta de la siguiente manera (ver Figura 3.5):

1. Una vez realizada la conversión a valores físicos se calcula el cuadrado de la tensión y se la suma a la anterior, haciendo esto 30 veces (la cantidad de puntos que se obtienen).
2. Una vez realizada la suma de los 30 puntos se lo divide por la misma cantidad.
3. Se calcula la raíz cuadrada del valor anterior.

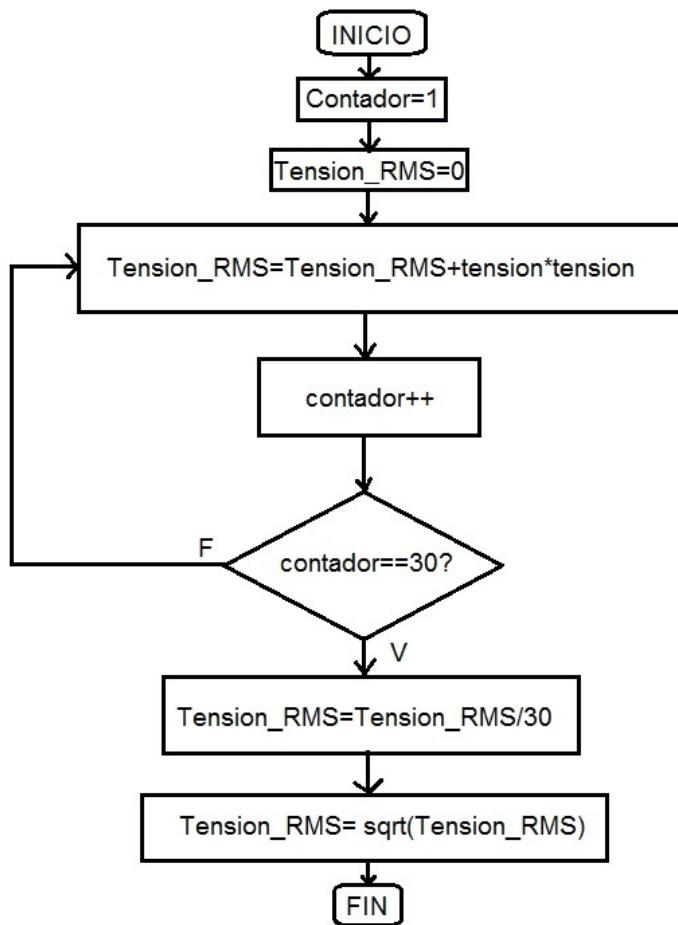


Figura 3.5: Diagrama de flujo cálculo tensión eficaz

### 3.4.3. Cálculo desfase entre tensión y corriente

El cálculo del desfase entre las señales es una de las tareas más importantes luego de la adquisición, ya que le da la característica de bidireccionalidad al sistema, es decir, permite conocer cuando se está consumiendo energía de la red y cuando se está entregando a la red desde el generador.

El cálculo de desfase se realiza buscando los puntos en el que las señales pasan de un valor positivo a un valor negativo, podríamos llamarlo **flanco de bajada**.

Para que el sistema cumpla el requisito de ser bidireccional debe medir el desfase de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  o  $0$  a  $2\pi$  radianes, la elección de este rango se debe a que luego se calcula el coseno del desfase para calcular la potencia instantánea, si es positiva se está consumiendo de la red y si es negativa se está entregando hacia la red.

Se utiliza el gráfico de la Figura 3.4 para dar una ejemplo de como el firmware calcula el desfase entre las señales. En el gráfico se puede ver que la señal de tensión cruza por cero en el punto 11, y la corriente en el punto 16. Por lo cual existen 5 puntos de diferencia en las señales. Utilizando el tiempo en que se toma cada muestra se calcula que la diferencia del cruce por cero de ambas señales es de 5 ms. Sabiendo que el período de las señales es de 20 ms, se utiliza la siguiente regla de tres simple para encontrar el angulo de desfase en grados:

$$\begin{array}{ccc} 20 \text{ ms} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 360^\circ \\ 5 \text{ ms} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & 90^\circ \end{array}$$

Al discretizar las señales se pueden obtener algunas ventajas, como por ejemplo, no hay necesidad de realizar la cuenta anterior dependiendo del tiempo, podemos hacer que dependa solo de la diferencia de puntos y la cantidad de puntos que representa un periodo.

La siguiente regla de tres simple, es una conversión directa entre la diferencia de puntos donde las señales cruzan por cero y los grados a los que corresponde:

$$\begin{array}{lcl} 20 \text{ puntos} & \longrightarrow & 360^\circ \\ 5 \text{ puntos} & \longrightarrow & 90^\circ \end{array}$$

Por último, y para optimizar el programa, se llega a una expresión para una conversión directa de la cantidad de puntos entre cruces por cero a radianes, ya que las funciones trigonométricas en CCS deben tener como argumento radianes y no grados.

$$\begin{array}{lcl} 20 \text{ puntos} & \longrightarrow & 2\pi \\ x \text{ puntos} & \longrightarrow & \frac{2\pi \cdot x}{20} \end{array}$$

La expresión  $\frac{2\pi \cdot x}{20}$  radianes ya puede ser utilizada en el código del programa.

En el programa, primero se espera que la tensión cruce por cero, y luego se espera el cruce por cero de la corriente, de esta manera se podrá medir todo el rango en grados que se necesita. Por esta razón es que se muestrea y analiza un período y medio de ambas señales, si la corriente llega a cruzar por cero antes que la tensión no se obtendrá la diferencia de puntos en que cruza la corriente ya que el sistema espera primero el cruce por cero de la tensión, extender el muestreo soluciona este problema. En la Figura 3.6 puede verse como la corriente puede adelantar a la tensión cruzando primero por cero, este sería el caso de un factor de potencia capacitivo. En la Figura 3.4 la corriente atrasa a la tensión, factor de potencia inductivo.

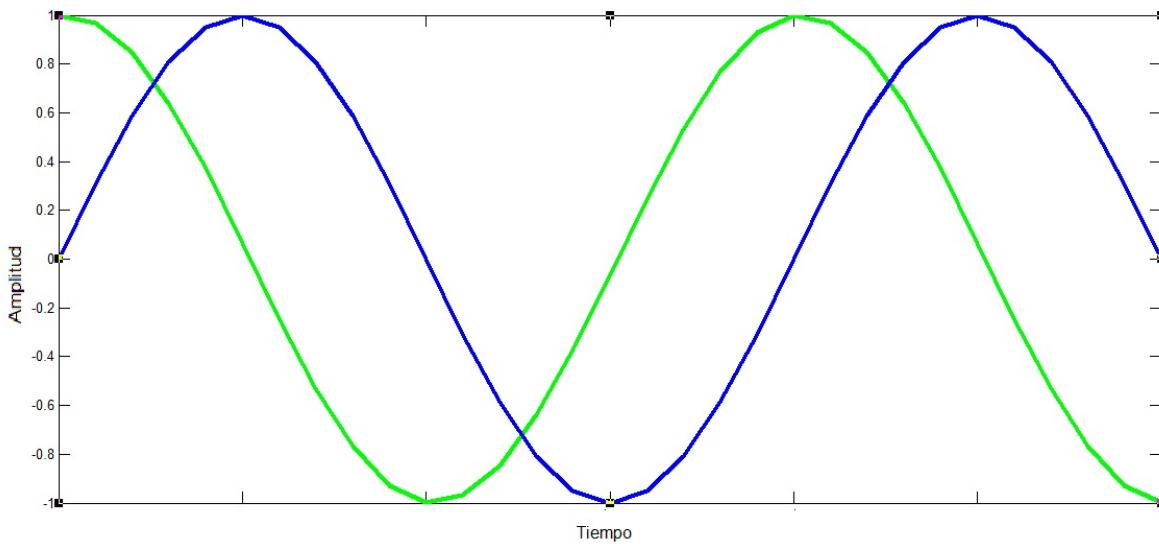


Figura 3.6: Corriente (verde) adelanta tensión (azul)

### 3.4.4. Cálculo potencia activa y energía

El cálculo de Potencia instantánea y Energía es lo último que se debe realizar antes de comenzar nuevamente la adquisición de los puntos.

Para calcular la potencia activa se necesita de la tensión eficaz, la corriente eficaz y el desfase de la señales ( $\phi$ ) de donde se calcula el coseno. Con la Ecuación 3.4 se obtiene la potencia activa completamente necesaria para calcular la Energía que es la finalidad del sistema de medición.

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad (3.4)$$

La potencia activa es la potencia capaz de transformar 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 tanto, la realmente consumida por los circuitos y, en consecuencia, cuando se habla de demanda o consumo eléctrico, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Solo resta calcular la Energía, donde se relaciona la potencia activa con el tiempo que esta se aplica, Ecuación 3.5 . Pero se debe medir el tiempo que se aplicó dicha potencia, ese tiempo es lo que tarda el sistema en dar toda una vuelta a la maquina de estado de la Figura 3.2 que puede variar por varios factores, uno de ellos que el usuario presione el botón para desplazarse por el menú, para solucionar esta problemática y no tener que calcular un tiempo que se deba mantener constante se utiliza el Timer 0.

$$W = P \cdot t \quad (3.5)$$

#### 3.4.4.1. Timer 0 para calcular Energía

Se utiliza el Timer 0 del PIC porque permite un preescalador de 1:256, en consecuencia, es el Timer con el cual se puede medir mayor tiempo. La forma en el que se lo usa es la siguiente, se inicializa el timer cuando se calcula la energía por primera vez, la cual dará cero pero es despreciable, y luego cuando se vuelve a medir la energía se lee el valor del Timer para calcular el tiempo transcurrido y así todo el tiempo en el que el sistema este en funcionamiento.

Lo único que se debe tener en cuenta en esta tarea es que el resultado de la Ecuación 3.5 dará en Watt-microsegundos, donde luego se convierten en Watt-Hora y por último en kWatt-Hora.

## 3.5. Conversores analógico digital

Se utilizan dos conversores externos de 12 bits con comunicación serial con entrada totalmente diferencial (Fully-Differential).

El conversor **AD7450** se conecta directamente a la salida positiva y negativa del amplificador, en la Figura 3.7 se presenta el esquema de la conexión del amplificador con el conversor.

El conversor **ADS7817** se conecta al sensor de corriente, donde se utiliza la tensión de referencia del conversor conectada a la entrada negativa del ADC para eliminar la tensión de offset que presenta la salida del transductor de corriente, la conexión del dispositivo puede verse en la Figura 3.8.

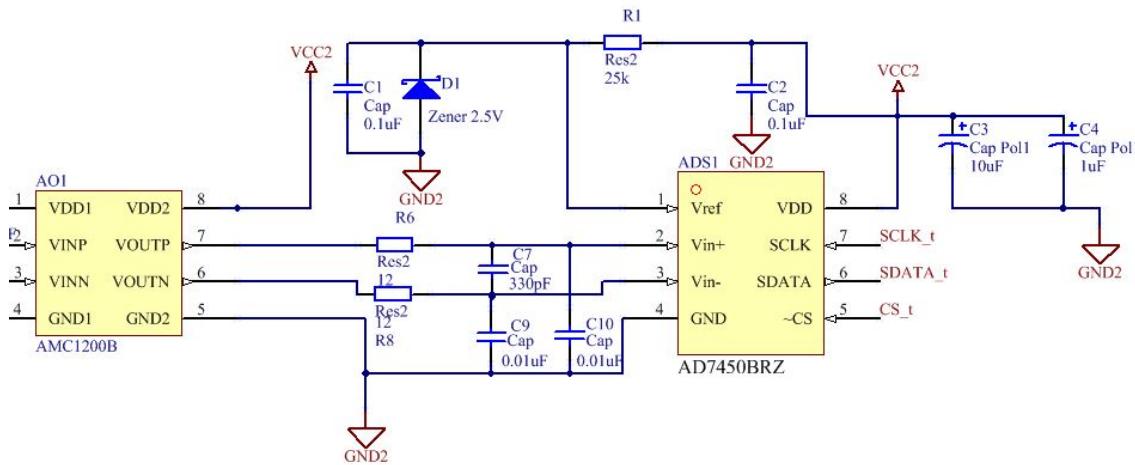


Figura 3.7: Conexión Amplificador de Aislamiento con Conversor AD7450

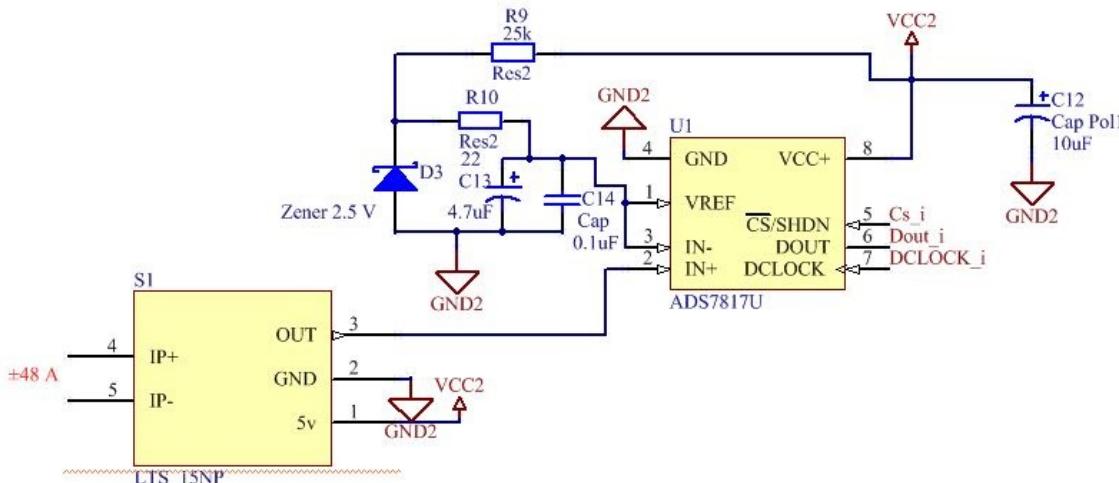


Figura 3.8: Conexión LEM LTS15-NP con Conversor ADS7817

### 3.5.1. Características y comunicación serial AD7450

El AD7450 es un conversor analógico digital de 12 bits, gran velocidad de conversión, bajo consumo, de aproximación sucesiva (SAR) con entrada totalmente diferencial. Puede ser alimentada desde una fuente de 3V o 5V contando con velocidades de transferencia de hasta 833 kSPS o 1 MSPS, respectivamente.

La tensión de referencia para el AD7450 se aplica externamente al pin VREF y se puede variar de 100 mV a 3,5 V, dependiendo de la fuente de alimentación y lo que se adapte a la aplicación. El valor de la tensión de referencia determina el voltaje de modo común.

Los procesos de conversión y adquisición de datos se controlan utilizando CS y el reloj en serie de la comunicación, permitiendo que el dispositivo interactúe con microcontroladores. Las señales de entrada son muestreadas en el flanco descendente de CS, y la conversión también inicia en este punto.

Se realiza la biblioteca para adquirir el dato del conversor y además pasar el dato que se entrega en complemento a dos a valores que puedan ser manipulados por las variables que el compilador permite usar. La biblioteca se realiza a partir de los esquemas de tiempo y la gráfica de salida entregada por el fabricante en la hoja de datos como puede verse en la Figura 3.9 y Figura 3.10 .

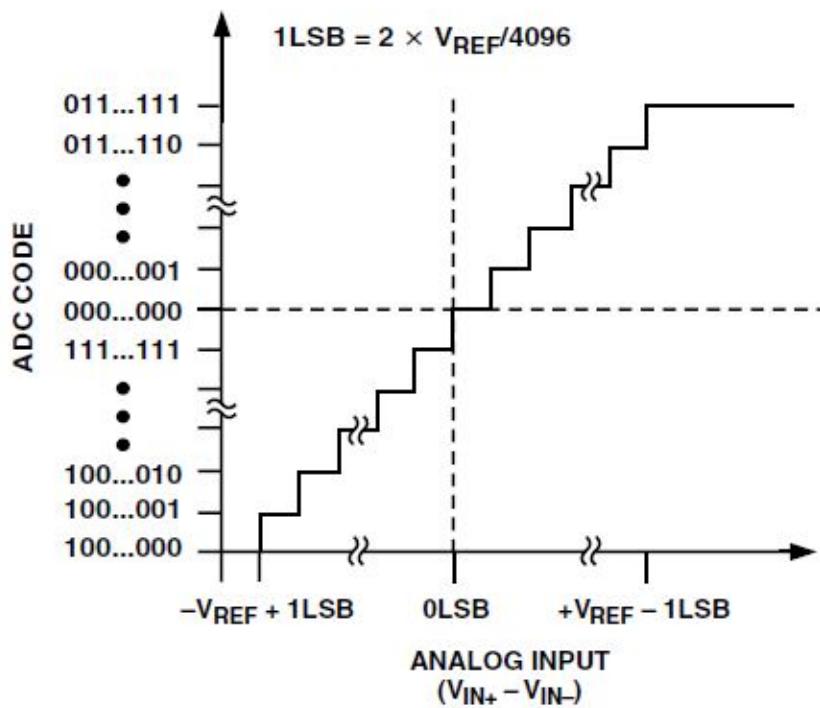


Figura 3.9: Gráfica de salida vs Entrada AD7450

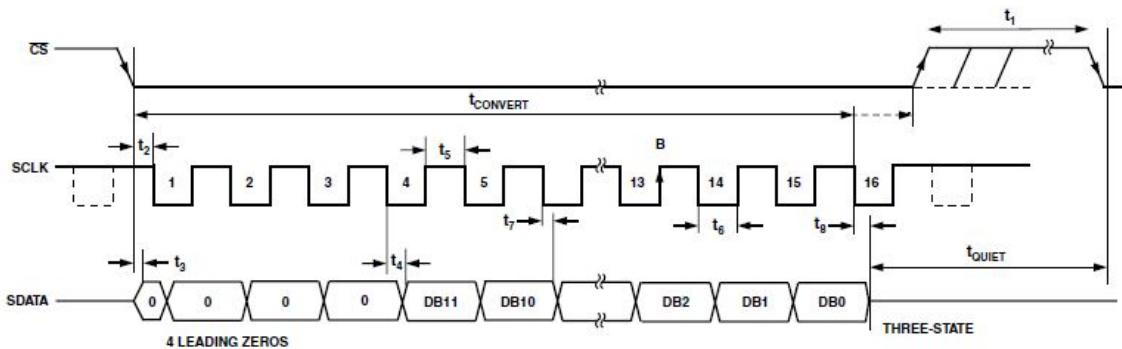


Figura 3.10: Diagrama de tiempo comunicación serial AD7450

### 3.5.2. Características y comunicación serial ADS7817

El ADS7817 es un convertidor analógico digital (A/D) de 12 bits y 200 kHz que cuenta con una entrada analógica totalmente diferencial de alta impedancia de registro de aproximación sucesiva clásico (SAR). La arquitectura se basa en la redistribución capacitiva que inherentemente. El voltaje de referencia puede variar de 100mV a 2.5V, con una resolución de entrada correspondiente entre  $49\mu\text{V}$  y  $1.22\text{mV}$ .

La entrada diferencial y bajo consumo, hacen que el ADS7817 sea ideal para la conexión directa a transductores en sistemas de baterías, adquisición de datos o aplicaciones multicanal.

El ADS7817 se comunica con microprocesadores y otros sistemas digitales a través de una interfaz en serie de 3 hilos síncronos. La señal DCLOCK sincroniza la transferencia de datos con cada bit que se transmite en el borde descendente de DCLOCK. La mayoría de los sistemas receptores capturarán el flujo de bits en el flanco ascendente de DCLOCK. Sin embargo, si el tiempo de espera mínimo para DOUT es aceptable, el sistema puede usar el flanco descendente de DCLOCK para capturar cada bit, ver Figura .

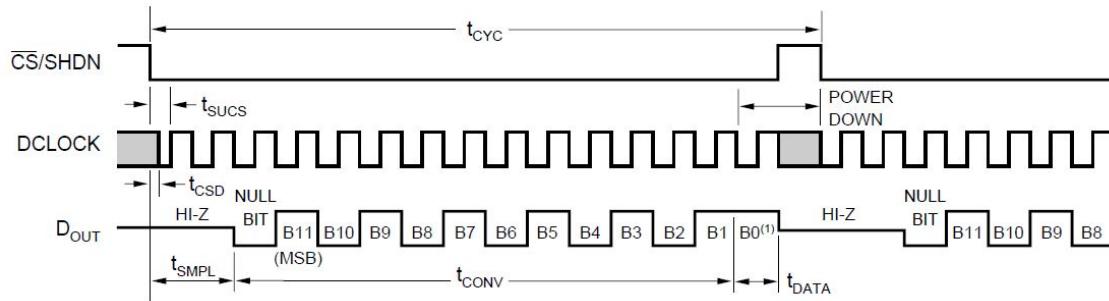


Figura 3.11: Diagrama de tiempo comunicación serial AD7817

Los datos de salida del ADS7817 se encuentran en el formato complemento a dos como se muestra en la Tabla 3.2. Esta tabla representa el código de salida ideal para la tensión de entrada dada y no incluye los efectos de desplazamiento, error de ganancia o ruido.

DESCRIPCION	VALOR ANALOG	SALIDA DIGITAL	
		Código	
Alcance de entrada a escala completa	$2^* V_{REF}$	Binario	HEXA
Bit menos significativo (LSB)	$2^* V_{REF}/4096$		
+Fondo escala	$V_{REF} - 1 \text{ LSB}$	0111 1111 1111	7FF
Mitad de escala	0 V	0000 0000 0000	000
Mitad de escala - 1 LSB	0 V - 1LSB	1111 1111 1111	FFF
-Fondo escala	- $V_{REF}$	1000 0000 0000	800

Cuadro 3.2: Entrada voltajes y código de salida ideal

### 3.5.3. Conversión de datos adquiridos

Solo se debe realizar la conversión de dos datos, el valor de tensión en cada punto y el valor de corriente en cada punto. Se debe tener en cuenta que el convertidor nos entrega un valor que por sí solo no tiene ningún sentido. En el Cuadro 3.3 se disponen las ecuaciones de cada conversión siendo q el valor que nos transfieren los conversores A/D.

ENTRADA ANALOGICA	ECUACION
±311,16 V	$\frac{2,5 \cdot 155,57}{2048} \cdot q$
±48 A	$\frac{2,5 \cdot 24}{2048} \cdot q$

Cuadro 3.3: Conversión de datos

## 3.6. Display

El Medidor de Energía utiliza cualquier LCD 16x2 que contenga el módulo adaptador a comunicación I2C que pueda ser utilizada con las librerías que fueron obtenidas del foro de CCS, I2C\_FLEX\_LCD.h. El uso de esta pantalla con I2C disminuye el uso de puertos del microcontrolador y además reduce el código del programa.

## 3.7. Memoria EEPROM interna PIC

El microcontrolador cuenta con una memoria de datos no volátil EEPROM de 256 bytes. Las operaciones de lectura y escritura son realizadas facilmente a traves de las funciones provistas por el compilador siempre y cuanto los datos sean de 8 bits, como se debe almacenar el valor de la energía en cada medida se realizó una biblioteca capaz de guardar y leer variables flotantes que estan conformadas por 4 bytes (32 bits).

La EEPROM es completamente necesaria para el correcto funcionamiento del sistema ya que se tendría un grave problema de perdida de información cuando el dispositivo se quede sin alimentación por cualquier suceso que pueda ocurrir en la red o el generador renovable. El microcontrolador cada vez que termina de calcular la energía, lee la información guardada en la memoria realizando la suma de la energía acumulada con la calculada en ese momento y la guarda nuevamente en la misma posición de memoria (4 bytes).

La memoria EEPROM también permite que el sistema pueda llevar un control anual o mensual del consumo de un hogar, para lo cual es necesario agregar un Reloj de Tiempo Real (RTC) que permite llevar un control periódico, mensual o anual de lo que se requiera.

## 3.8. Memoria externa 24C32

Este dispositivo ha sido desarrollado para aplicaciones avanzadas de baja potencia, como comunicaciones personales o adquisición de datos.

El 24C32 cuenta con un caché de entrada para cargas de escritura rápidas con una capacidad de 8 paginas de 8 bytes o 64 bytes. También cuenta con un bloque fijo de 4K bits de memoria de resistencia ultra baja para los datos que cambian frecuentemente. El 24C32 es capaz de lecturas aleatorias y secuenciales hasta el límite de 32K. Las líneas de direcciones funcionales permiten hasta 8-24C32 dispositivos en el mismo bus, para un espacio de direcciones de hasta 256K bits.

El 24C32 admite un bus bidireccional de dos hilos y un protocolo de transmisión de datos (I2C). Un dispositivo que recibe datos como receptor. El bus debe ser controlado por un dispositivo maestro que genera el reloj serial (SCL), controla el acceso al bus y genera las condiciones de INICIO y PARADA, en este caso el **PIC18F4550**, mientras que el 24C32 funciona como esclavo. Tanto el maestro como el esclavo pueden funcionar como transmisor y receptor, pero el dispositivo maestro determina qué modo está activado.

### 3.8.1. Funcionamiento en el sistema

En la sección anterior, se dejó en claro cual es la razón por la cual se debe utilizar una memoria EEPROM en un sistema de adquisición de datos, esto se debe a la necesidad de salvaguardar la información crítica del sistema en una memoria no volátil que no puede ser eliminada por un corte en la alimentación, en este caso la lectura de la Energía en kWh y Wh, además del consumo mensual del cual se hablará en la próxima sección.

La problemática principal de la sección anterior, es la lectura y escritura en cada ciclo de cálculo, el cual dura unos 60 ms. Pero, ¿Cúal es el problema? el problema se encuentra en la cantidad de ciclos de lectura/escritura que soporta una memoria EEPROM (1 millón en el caso del 24C32 y de la memoria interna del PIC), es decir, si calculamos que cada 60 ms se lee y escribe la memoria, sabiendo que una hora consta de 36 millones de ms, en poco más de una hora de funcionamiento la memoria EEPROM del sistema será obsoleta perdiendo los datos críticos.

La solución fue cambiar el capacitor de filtro de la alimentación por uno de mayor capacidad (Figura 3.12), para que le de al sistema unos 800 ms de energía luego de que se haya cortado la alimentación de red. El capacitor le da al sistema el tiempo suficiente para testear la tensión de línea, recordar que esta es una de las funciones principales del sistema, si esta tensión es baja se guardan 4 datos importantes, 3 flotantes: Energía en kWh, Energía en Wh y energía mensual consumida, y un entero: el mes de consumo correspondiente. Una vez que se restablece la alimentación se lee de la memoria EEPROM los valores mencionados, y el sistema vuelve a funcionar con normalidad, reduciendo el desgaste en la memoria y solucionando el problema planteado.

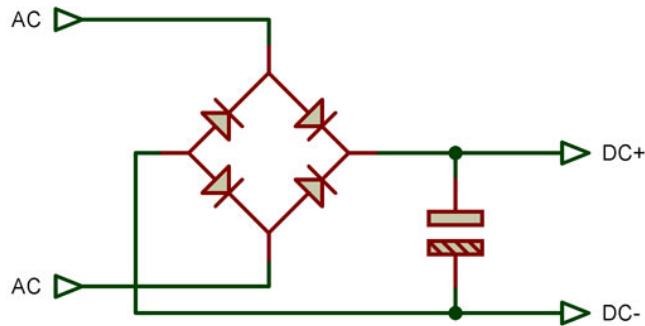


Figura 3.12: Capacitor de filtro

### 3.9. Reloj en Tiempo Real DS3231

El integrado DS3231 es un reloj I<sub>2</sub>C en tiempo real (RTC) de bajo costo y extremadamente preciso con un oscilador de cristal (TCXO) y un cristal integrado compensado en temperatura. El dispositivo incorpora una entrada de batería, que mantiene la hora exacta cuando la alimentación es interrumpida. La integración del resonador de cristal mejora la precisión a largo plazo del dispositivo, así como reduce el recuento de piezas en una línea de fabricación.

El RTC mantiene información de segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. La fecha al final del mes se ajusta automáticamente para los meses con menos de 31 días, incluyendo correcciones para el año bisiesto. El reloj funciona en el formato de 24 horas o 12 horas con un indicador AM/PM. Se proporcionan dos alarmas de hora y día programables y una salida de onda cuadrada programable. La dirección y los datos se transfieren en serie a través de un bus bidireccional I<sub>2</sub>C.

Para ser utilizado en el sistema se crea la librería a partir de un ejemplo de CCS y con los diagramas de la hoja de datos. Teniendo el mes actual disponible en el sistema gracias al reloj, es posible guardar el consumo mensual utilizando una sola variable que se encarga de acumular el consumo y guardarlo en la EEPROM, con un puntero en la memoria, una vez terminado el mes. En el diagrama de la Figura 3.13 se puede analizar la lógica la lógica que se utiliza en el firmware, donde el diagrama se ejecuta en cada periodo de medición, es decir unos 60 ms aproximadamente.

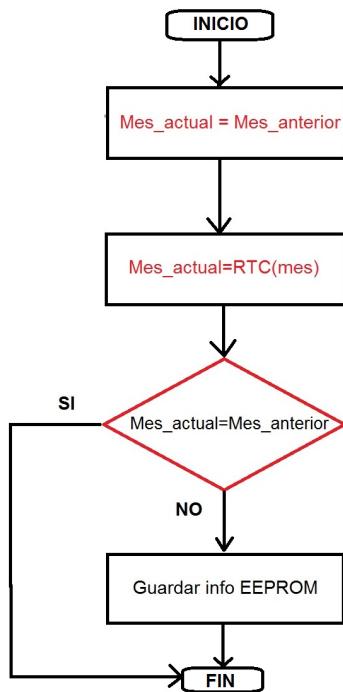


Figura 3.13: Diagrama control mes actual

## 3.10. Bluetooth HC-05

El HC-05 es un módulo Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) fácil de usar, diseñado para la configuración de la conexión serial inalámbrica transparente.

El modulo Bluetooth de puerto serial esta conformado por Bluetooth V2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) modulación de 3Mbps con transceptor de radio 2.4GHz y banda base completos. Gracias a sus puertos TxD y RxD es posible realizar comunicaciones inalámbricamente a 10 metros máximo resultando muy sencillo de utilizar por su SSP de bajo consumo que trabaja a 3.3V.

El HC-05 es un módulo maestro-esclavo, esto quiere decir que además de recibir conexiones de un microcontrolador o PC, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth.

En este sistema se utiliza el módulo Bluetooth para conectar el PIC con cualquier celular con sistema operativo Android que disponga de Bluetooth y la aplicación desarrollada de la cual se comentará en la próxima sección. El  $\mu$ C se encarga de enviarle al celular los siguientes datos, en diferentes momentos según la aplicación los requiera:

- Energía kWh
- Energía Wh
- Tensión RMS
- Corriente RMS
- Factor de potencia
- Consumo en kWh del mes actual

- Número del mes actual
- Consumo en kWh de los 12 meses

La conexión entre el módulo y el PIC es muy simple, RX del módulo al TX del micro, y viceversa, sin necesidad de ningún driver que adapte las señales. Dicha conexión se puede analizar en la Figura 3.14.

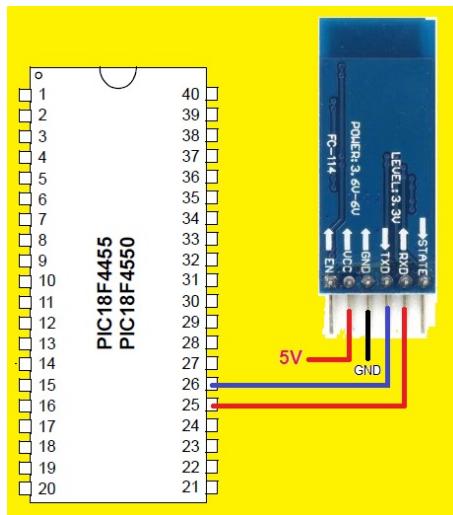


Figura 3.14: Conexión PIC con módulo HC-05

La lógica del firmware se basa en el control de una variable que es modificada cuando se recibe un dato, dicho dato puede ser el carácter 1 o el carácter 2, Figura 3.15. Se pasa por alto la explicación sobre la recepción del dato ya que es simplemente la interrupción de la UART que se activa cuando el módulo tiene información en el buffer. Como se dijo, dependiendo del carácter recibido el  $\mu$ C se comporta de dos modos:

**CARACTER 1:** Se envía dentro de un string la siguiente información separada por un ' ; ':

- Energía kWh
- Energía Wh
- Tensión RMS
- Corriente RMS
- Factor de potencia
- Consumo en kWh del mes actual
- Número del mes actual

**CARACTER 2:** Se envía dentro de un string los consumos de los 12 meses separados por ' ; ', necesario para la lectura correcta de la información en la aplicación, pero se debe aclarar que solo se envía de a 2 meses por vez, ya que de otro modo le llevaría demasiado tiempo poniendo en riesgo el tiempo de adquisición.

Para dejar en claro el modo en que se envía el consumo de los dos meses, se vuelve a hacer referencia al puntero de mes, que contiene la dirección de donde esta guardado el consumo

de enero en la memoria EEPROM. Como en el compilador CCS una variable de tipo flotante ocupa 4 bytes, en la memoria se debe saltar de a 4 bytes para no borrar información. En el caso de que se quiera enviar dos datos adyacentes, se debe realizar un salto en memoria de 8 bytes. Nuevamente, este control se realiza luego de cada periodo de medición y cálculo.

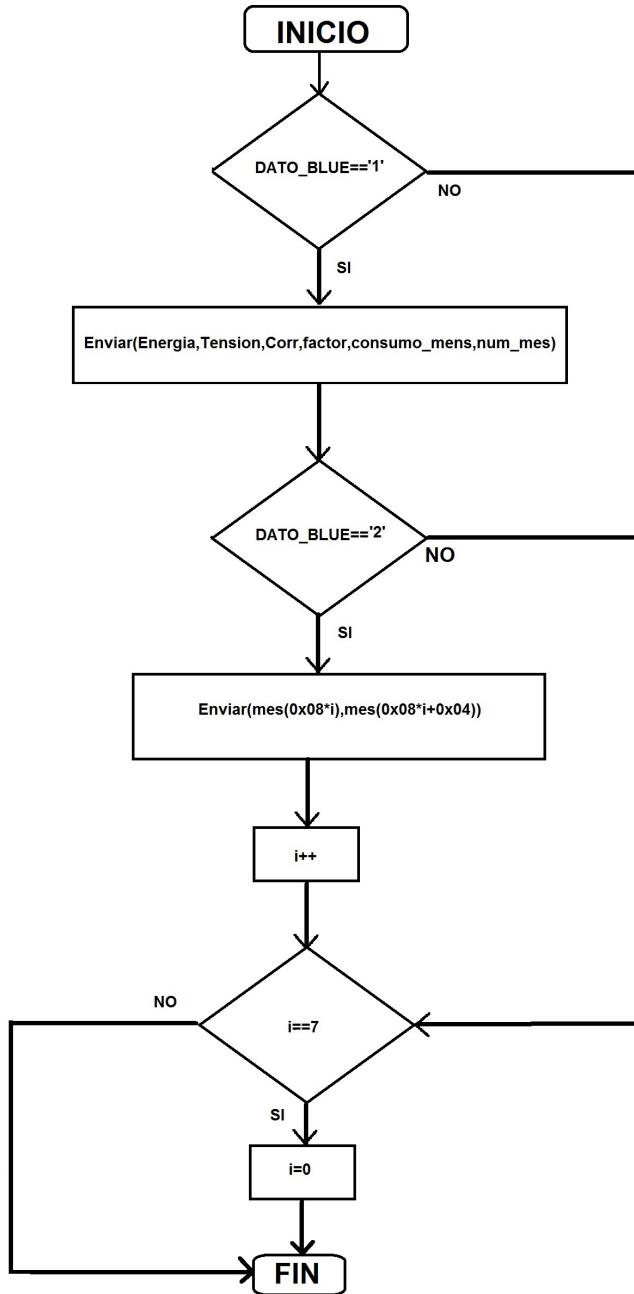


Figura 3.15: Diagrama control Bluetooth

### 3.11. Aplicación Android

La aplicación para el sistema de medición de energía se realiza en App Inventor el cual es un entorno de desarrollo de software creado por Google Labs para la creación de aplicaciones para sistemas operativos Android. El usuario puede, de forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. App Inventor se basa en el lenguaje de programación Java.

Para la explicación no se utilizarán diagramas porque los bloques de App Inventor son completamente intuitivos, sin necesidad de conocer sobre ningún lenguaje, solo basta con saber un poco de programación y aclarar que cada bloque es ejecutado luego de un acontecimiento, y dentro de los mismo se sigue la secuencia según el orden.

En el bloque de la Figura 3.16 se envía el dato '2' y luego se espera por el micro para recibir el consumo de 2 meses, este proceso ocurre 6 veces cuando se inicia la aplicación y no vuelve a repetirse si la app no es cerrada. En este bloque se explica el porque del carácter ';' el cual divide la secuencia de datos recibidos. Una vez recibidos los 12 valores de consumo, estos se guardan en un archivo para poder ser usados sin conexión al dispositivo, ya sea para comparación o solo conocimiento del usuario.

El resto de los bloques que no están relacionados con la transmisión o recepción de datos solo se encargan de la parte estética de la aplicación.

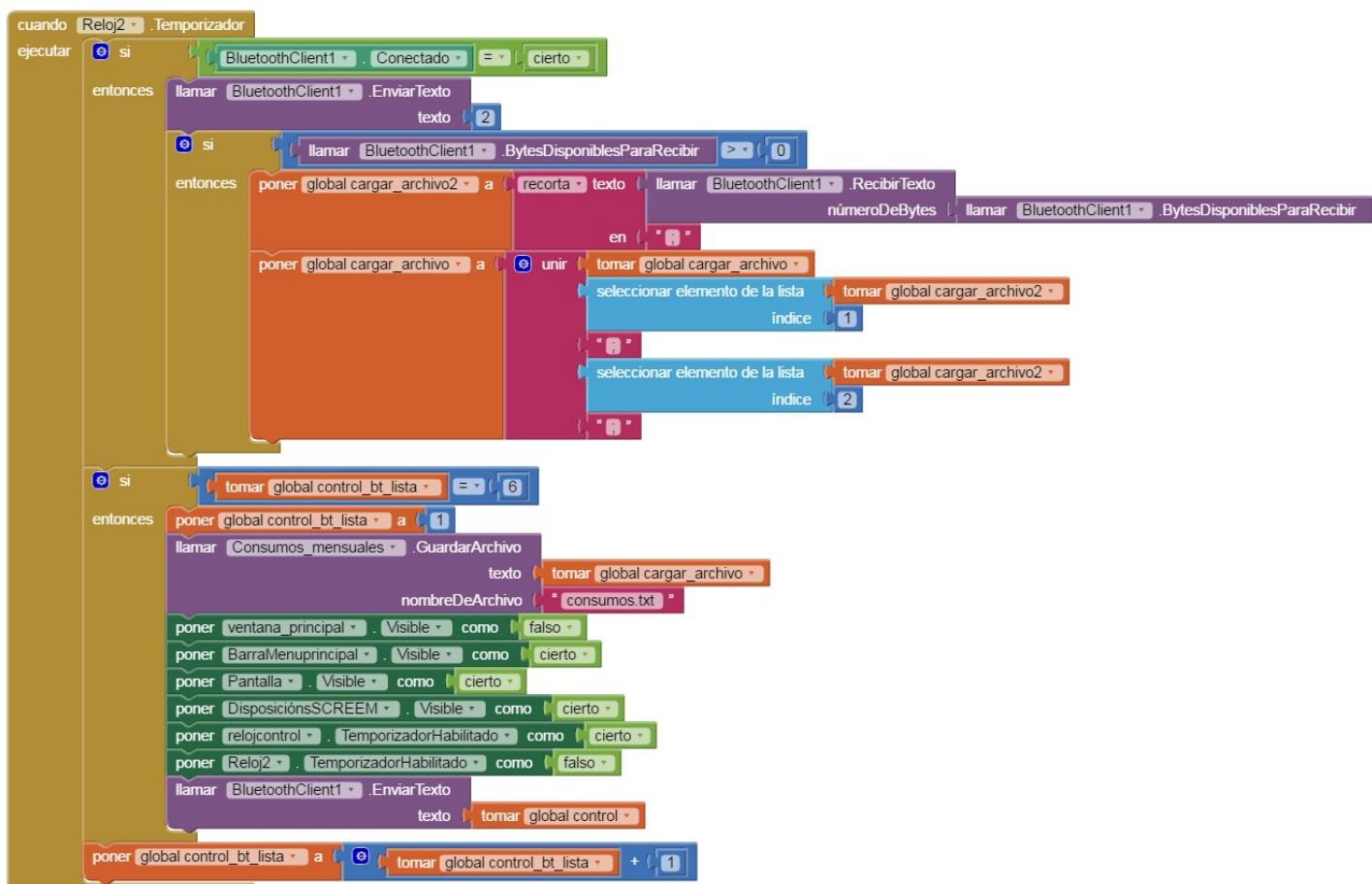


Figura 3.16: Recepción 12 meses de consumo

En el bloque de la Figura 3.17 se utiliza el temporizador reloj control” que se activa cada 1 segundo, para enviar el dato '1' y así recibir todos los datos correspondientes que se nombraron en la sección 3.10, luego a partir de los separadores ';' se coloca cada dato en un campo de texto para ser mostrado al usuario cuando lo deseé. En este mismo bloque, se controlan que las tensiones y corrientes estén dentro de los rangos configurados por el usuario, de lo contrario se muestra una notificación en pantalla. Por último este bloque llama a lectura al archivo de consumos, para almacenar el nuevo valor del mes actual que se ha recibido del microcontrolador.

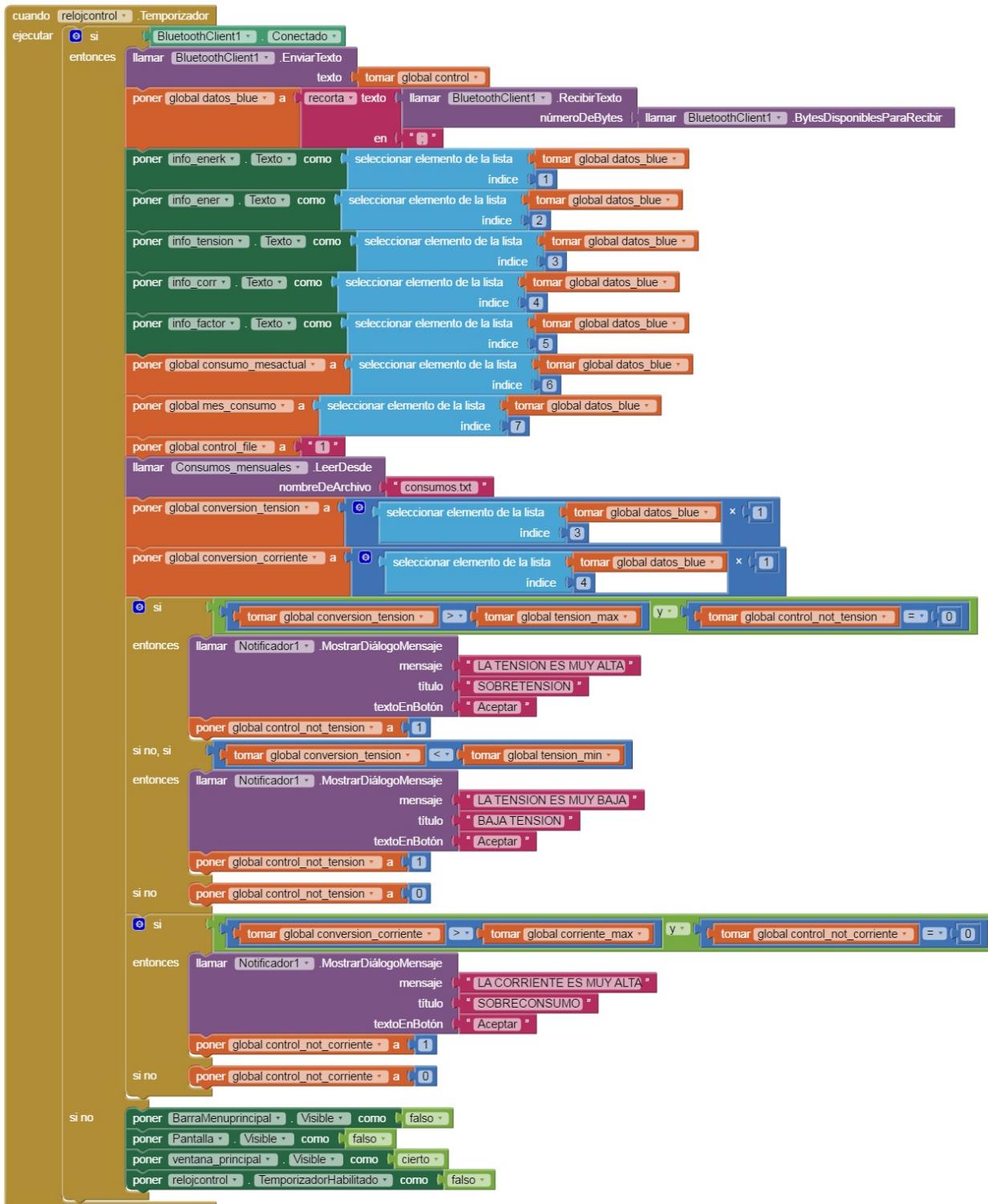


Figura 3.17: Recepción información variada

El último bloque que se va a mencionar en esta sección (Figura 3.18), es el encargado de leer el archivo de consumos, llamado "consumos.txt", y separar el string obtenido en una lista para luego poder remplazar el nuevo valor de energía obtenido en el bloque anterior con la ayuda del número del mes de consumo que corresponde al indice del mes actual. Una vez remplazado se rearmar el archivo a partir del bloque de unión de texto y se vuelve a guardar. En este bloque también se realiza la lectura de "consumos.txt" para poder mostrar los valores usando un selector de lista.

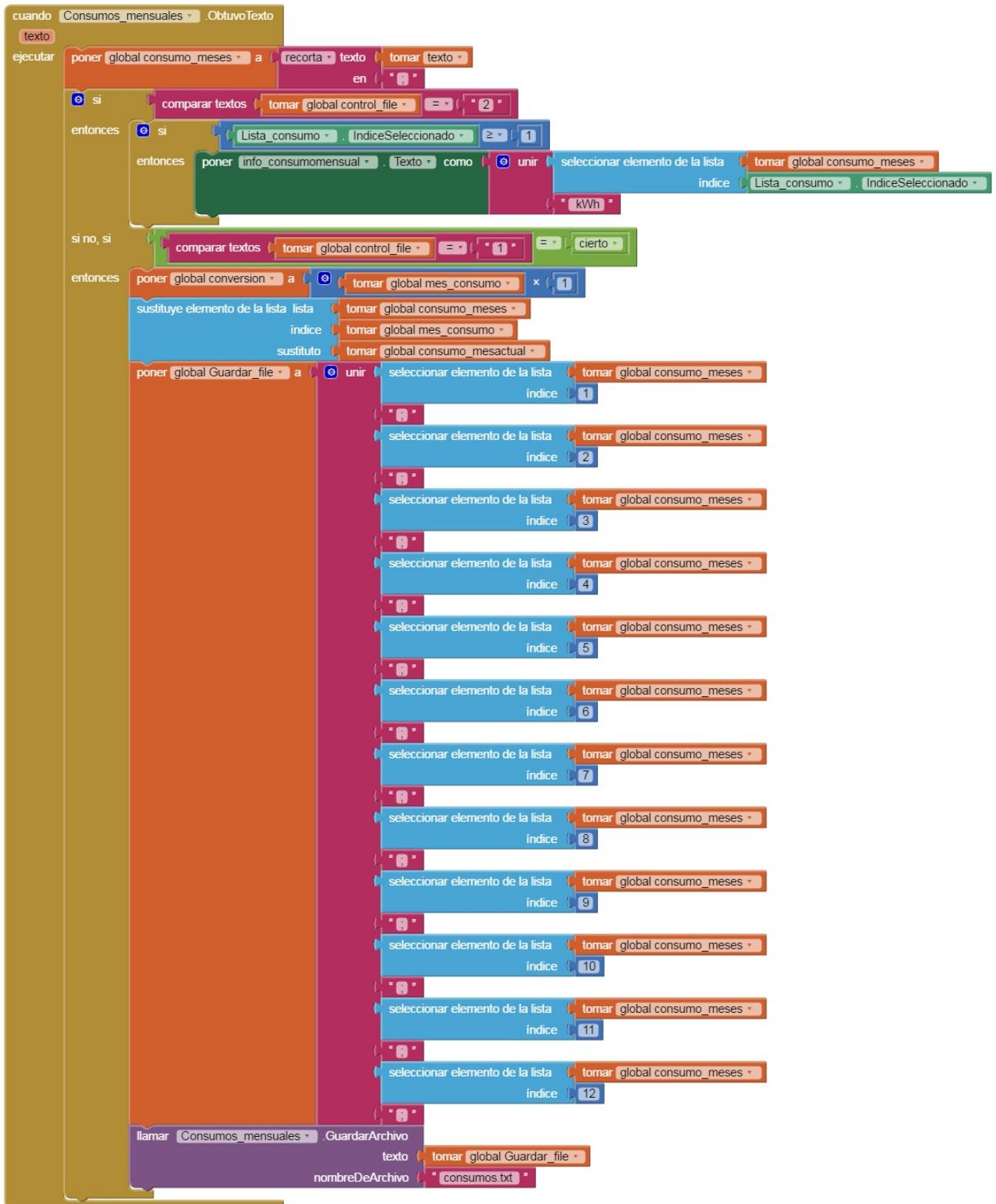


Figura 3.18: Manipulación "consumos.txt"

Si se desea utilizar el archivo creado por la aplicación este se puede encontrar en la carpeta contenedora de la app que depende de la versión de Android, pero al ser un archivo de texto, puede ser leído con cualquier editor, como también ser utilizado por otra aplicación que se encuentre instalada en el dispositivo móvil.

# Capítulo 4

## Ruido en el sistema

Se denomina **ruido eléctrico**, a todas aquellas señales de interferencias, de origen eléctrico, no deseadas y que están unidas a la señal principal, o útil, de manera que la pueden alterar produciendo efectos que más o menos perjudiciales.

- Cuando la señal principal es **analógica**, el ruido será perjudicial en la medida que lo sea su amplitud respecto a la señal principal.
- Cuando las señales son **digitales**, si el ruido no cambia de estado, dicho ruido será irrelevante. Sin descartar que el ruido nunca se puede eliminar en su totalidad.

La principal fuente de ruido es la red que suministra la energía eléctrica, y lo es porque alrededor de los conductores se produce un campo magnético a la frecuencia de 50 Hz, en nuestro caso. Además por estos conductores se propagan los parásitos o el ruido producido por otros dispositivos eléctricos o electrónicos.

De todas formas las perturbaciones más perjudiciales son las que se producen interiormente o muy cerca de la instalación. Normalmente son picos y oscilaciones de tensión causados por bruscas variaciones de intensidad en el proceso de conexión y desconexión de los dispositivos de mayor consumo.

### 4.1. Tipos de ruido

#### 4.1.1. Ruido Conducido

Los ruidos conducidos, son aquellos que se propagan por conducción galvánica entre la fuente de ruido y el dispositivo interferido, o sea, conducción de corriente eléctrica entre ambos.

Este tipo de ruido, Figura 4.1, es la causa más común en los sistemas con microcontroladores de mal funcionamiento, e ingresan al mismo principalmente por la alimentación del sistema, por entradas conectadas a sensores remotos, por interfaces de comunicación alámbricas de gran recorrido y por pines no usados en el circuito. Generadores típicos de este tipo de ruido son cargas inductivas, contactores eléctricos, relays, alternadores de automóviles, sistemas de ignición, solenoides, motores eléctricos de escobillas, etc.

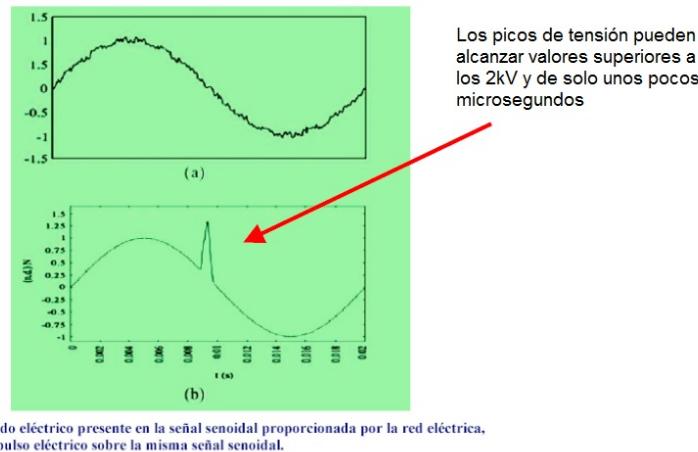


Figura 4.1: Ruido montado y picos de tensión

Por lo general, ante tanta energía “impulsiva” disponible en estas verdaderas “agujas eléctricas”, los microcontroladores presentes en los sistemas responden con “colgaduras” varias como reseteos aleatorios, saltos a posiciones no previstas en los contadores de programa, generación de interrupciones “fantasmas”, etc.

También se puede producir “la muerte” del MCU y que obedece a sucesivas pequeñas rupturas de compuertas CMOS internas al mismo, que son provocadas por la descomunal energía presente en cada uno de estos pulsos y que van generando cortos o semicortos que dan origen a los llamados “hot spot” o puntos calientes. Estos puntos calientes son acumulativos y van provocando acciones de mal funcionamiento o de consumo excesivo en módulos o funciones del MCU y por lo general, terminan con la vida útil del dispositivo. Es un proceso lento, pero inevitable si no se lo tiene en cuenta cuando se diseña un sistema con microcontroladores.

#### 4.1.2. Ruidos Radiados

Son los ruidos que se propagan por medio de ondas electromagnéticas, o bien por la acción de campos eléctricos inducidos, o sea no existe contacto galvánico alguno entre la fuente de ruido y el sistema interferido. Por lo general, son los menos frecuentes en el mal funcionamiento de los sistemas microcontrolados, pero no por ello son los menos importantes en nuestra lucha contra el ruido.

Generadores típicos de este tipo de ruidos son los sistemas de ignición en automóviles, arcos voltaicos en contactores o relays con cargas inductivas, motores a escobillas, etapas de salida de RF, circuitos osciladores del propio MCU.

Estos ruidos presentan menor intensidad energética que los conducidos, por lo que rara vez provocan la “muerte” de nuestro microcontrolador, pero al ser por naturaleza del tipo “inducidos”, su eliminación o disminución es más complicada.

#### 4.2. Circuito Oscilador

El circuito oscilador, es realmente un punto importante a tener en cuenta a la hora de hacer de nuestro sistema “algo” estable ante ruidos de origen interno y/o externos.

La mayoría de las perturbaciones recibidas en el oscilador, ingresan por el pin OSC1, ya que al presentar alta impedancia se convierte en una verdadera antena al ruido de tipo radiado, tanto interno (por ejemplo el propio pin OSC2) como externo.

La mejor solución se logra cuando se ubican los componentes involucrados en el oscilador, lo más cercanos unos de otros y todo el conjunto lo más cerca posible de los pines OSC1 y OSC2. Es aconsejable incluir una pista de “masa” entre los pines OSC1 y OSC2 como se puede observar en la Figura 4.2, ya que esto sirve a modo de blindaje del pin OSC1 de las emisiones de R.F. del pin OSC2 que está muy próximo a este y de otras fuentes cercanas de radiofrecuencia, se debe tener cuidado con no cerrar esa pista de masa, de forma tal de crear un anillo o loop de masa, pues ello sería más perjudicial que el no incluir la citada pista.

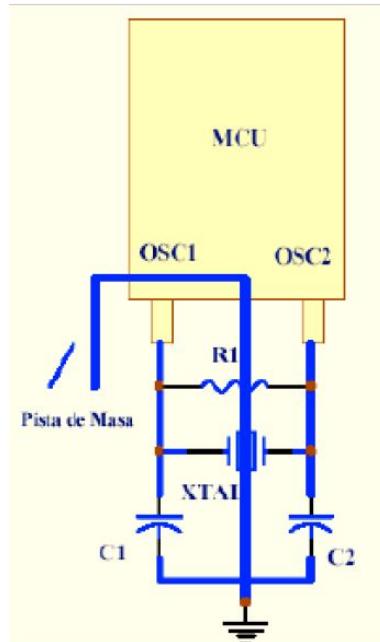


Figura 4.2: Layout típico recomendado para el circuito Oscilador

## 4.3. Puertos I/O

### 4.3.1. Puertos I/O no utilizados

En sistemas donde la exposición a fuentes de ruidos extremas es inevitable, toda precaución es poca. No debemos olvidarnos que los puertos I/O de un MCU son del tipo CMOS por lo que, si están configurados como entradas, son verdaderos puntos de captación de ruidos. Acciones como configurarlos como salida, habilitar resistores de Pull-Up o Pull-Down (si los tuviera) o colocarles resistores en forma externa, evitan o disminuyen los riesgos de captación de ruidos.

**Lo más efectivo es colocar resistores externos en los puertos I/O no utilizados.**

Todo lo comentado para los puertos I/O también es válido para las entradas de interrupciones externas como lo son los pines de IRQ o el pin de Reset del MCU, que son afectados por las mismas fuentes de ruido que los puertos I/O.

### 4.3.2. Puertos I/O utilizados pero con extenso cableado en medio hostil

Para aquellos puertos de entrada que, si bien están siendo utilizados por el sistema, pero se vinculan con un medio ambiente “hostil” como por ejemplo sensores remotos en un automóvil o ambiente industrial, se deberán tomar además, medidas extras, en lo que respecta a picos de tensión presentes en dichos puertos, que por lo general, pueden alcanzar valores tan altos como

200Vpp, significando verdaderas “agujas” de tensión que deben ser limitados de alguna forma, ya que de no hacerlo tarde o temprano terminarán con la vida útil del puerto o no pocas veces, con todo el MCU.

Para limitar la sobre-excursión de tensión, no bastan los mecanismos internos implementados en el propio MCU (diodos de “clamping” internos), además hay que usar supresores de picos como pueden ser varistores de óxido de silicio, TVS, o simples diodos zener a masa, que deben calcularse para disipar rápidamente la energía de los pulsos de ruido sin por ello afectar el funcionamiento normal del puerto.

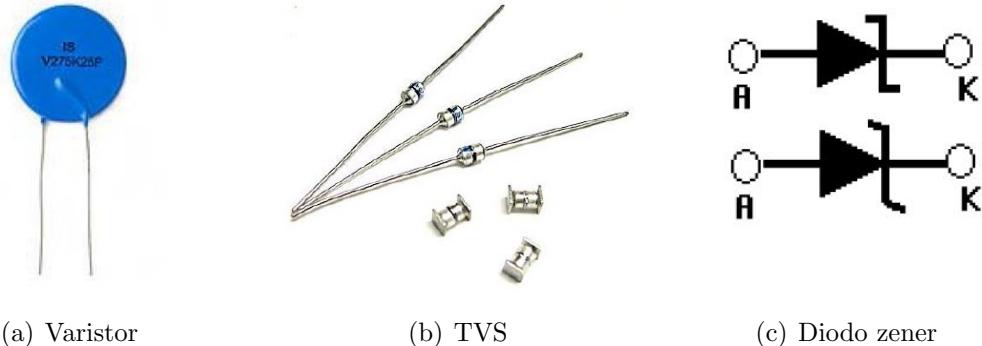


Figura 4.3: Supresores de picos.

## 4.4. Capacitores de bypass

Si el circuito utiliza C.I. CMOS o microcontroladores de esta tecnología lo primero que se destaca es que las corrientes consumidas por estos dispositivos serán bajas, y como quedó demostrado, nada más alejado de la realidad, ya que si bien las corrientes medias de los mismos, son bajas, no ocurre lo mismo con las corrientes “pico” que, según lo explicado, pueden alcanzar valores de centenares de mA.

Las pistas de la placa presentan resistencias e inductancias distribuidas que, para las corrientes instantáneas involucradas, son un limitante a la entrega de energía a los dispositivos que la necesitan. Y la pregunta que asalta en estos momentos es, ¿quién entrega dicha energía? Pues bien, uno pensaría que la misma debería ser provista por la fuente de alimentación o el circuito de regulación de tensión, y si bien ello es cierto en fenómenos de baja frecuencia, no lo es para los de alta frecuencia como lo son los “picos” de corriente presentes en los dispositivos descriptos. La energía es entregada por los capacitores de bypass o desacople.

Es de vital importancia el uso de estos capacitores en cada uno de los dispositivos como C.I CMOS, microcontroladores y hasta amplificadores operacionales y comparadores.

Si no los utilizamos, nuestros dispositivos CMOS no tendrán la energía impulsiva suficiente y el resultado final será la aparición de “glichs” o pulsos negativos en la tensión de alimentación de ellos, provocando ruidos internos.

### 4.4.1. Ubicación física del capacitor

La ubicación optima, debería ser aquella que presente la menor longitud de pistas entre el capacitor y el dispositivo asociado, esto es así debido a que de nada sirve colocar capacitores de bypass a varios centímetros de distancia del chip, ya que la resistencia e inductancia serie de las pistas, ahora sumadas al propio ESR (Equivalente Serie de Resistencia) de los capacitores,

echarían por tierra los beneficios la de provisión de energía en forma instantánea por parte de estos. En la Figura 4.4, puede observarse la ubicación correcta y la incorrecta de un capacitor de bypass.

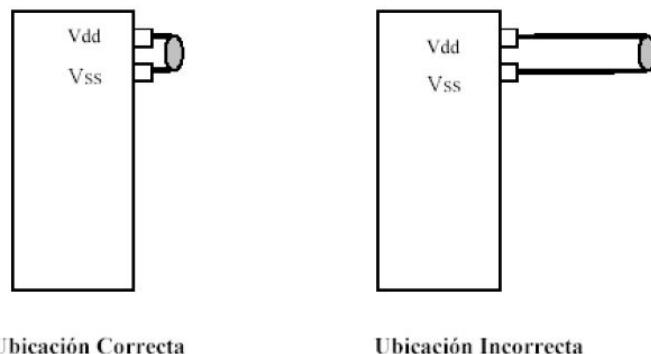


Figura 4.4: Ubicación correcta de los capacitores de Bypass

#### 4.4.2. ¿Qué tipo de Capacitor utilizar?

Por una práctica errónea, se suele utilizar en muchas oportunidades capacitores cerámicos comunes del tipo disco, que son muy económicos pero lamentablemente poseen un E.S.R (Equivalente Serie de Resistencia) muy elevado para su uso en alta frecuencia. Valores elevados de E.S.R darán el mismo resultado que el de pistas “largas” en nuestra placa, ya que, limitan la entrega instantánea de energía del capacitor al dispositivo.

Lo aconsejable aquí, es emplear capacitores cerámicos del tipo “multicapa” (multilayer), ya que por su forma constructiva, poseen valores más bajos de E.S.R que los cerámicos comunes. También se pueden incluir en los terminales del MCU un capacitor de tantálio (no de alumínio, por su ESR elevado) de unos pocos microfarádios (1 a 10 uF) que oficiará de reservorio (bulk) de energía para fenómenos más lentos que en los que podría trabajar el capacitor de Bypass.

#### 4.4.3. ¿Qué valor utilizar?

El cálculo del mismo puede transformarse en una misión muy complicada si no se tienen a mano algunos datos, que por lo general así es. Por lo que aquí se da una solución de compromiso que cumple satisfactoriamente con su cometido.

El valor más utilizado en circuitos con frecuencias de clock (reloj) internas de hasta 2 Mhz, es de 0,1 microfaradios. Con valores de reloj más altos, ya no es efectivo un capacitor de 0,1 microfaradios, debido fundamentalmente a que los valores de E.S.R del mismo no son tan bajos a frecuencias cercanas a los 10 Mhz, por lo que se sugiere utilizar capacitores de 0,01 microfaradios. Con igual criterio, para frecuencias de reloj superiores a los 10 Mhz se sugiere utilizar capacitores de 1000 pF (picofaradios).

Si la placa posee componentes en montaje SMD (montaje superficial), mejoran las posibilidades de reducir los ruidos provocados por los C.I debido a que los capacitores involucrados presentan mejores valores de E.S.R que los de montaje común (pasante), además al ser los componentes SMD más pequeños, la placa resulta de menores dimensiones y por lo tanto se mejora con las distancias de las pistas de masa, alimentación y por supuesto las pistas involucradas con los capacitores de Bypass.

## 4.5. Eliminación ruido del sistema de medición

Es probable pensar en que es innecesario dedicar todo un capítulo de este informe para comentar sobre el ruido y sus consecuencias, pero nada mas lejos de la realidad. Quizás en un sistema completamente digital el ruido no sea de gran importancia para el encargado del diseño, pero en el caso de este sistema que debe medir señales analógicas, el ruido fue uno de los temas principales a solucionar, más que nada porque no se lo tiene en cuenta al principio y genera muchos más inconvenientes de los que se pueda imaginar.

El ruido no solo modificó los valores que se medían, sino que producía saltos aleatorios en el contador de programa del PIC que en muchos casos es solucionable con el Watchdog timer, pero no se puede abusar de dicha herramienta.

En esta sección se exponen las capturas al osciloscopio para mostrar la gran importancia que tienen los capacitores de bypass y comprobar que la teoría vista en las secciones anteriores son correctas. Todas las pruebas que se realizan son sobre el sensor de corriente LEM LTS15-NP ya que es la señal que varía su amplitud en todo momento.

La Figura 4.5 muestra la señal de salida del sensor para baja corriente y sin el microcontrolador PIC.

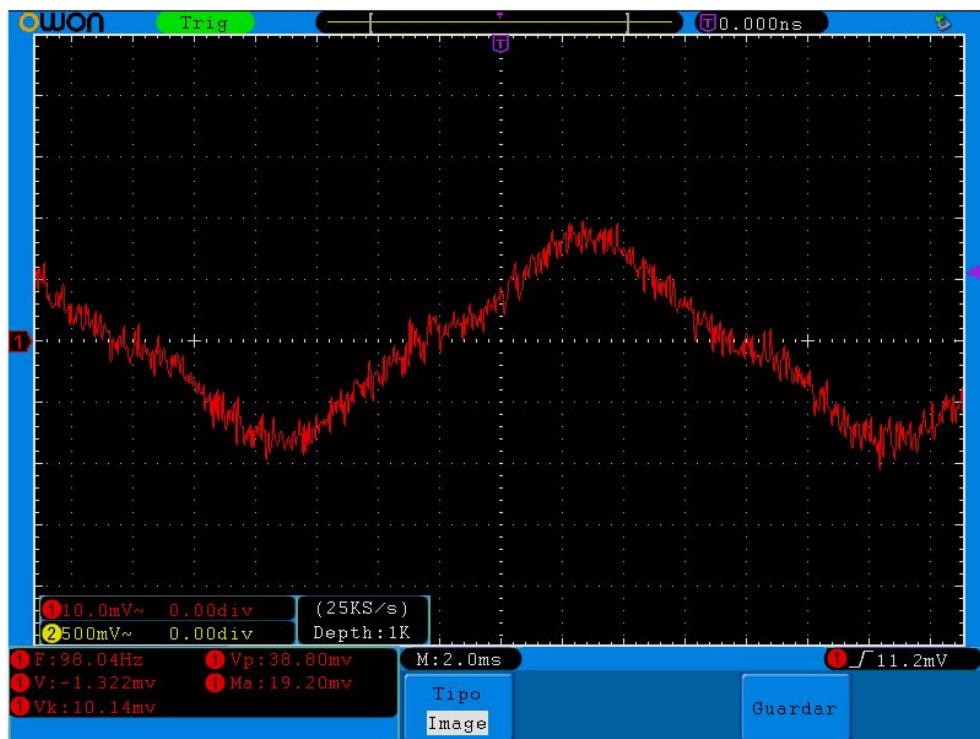


Figura 4.5: Corriente baja sin micro

La Figura 4.6 muestra la señal de salida del sensor para baja corriente y con el microcontrolador PIC con el cristal de 48MHz sin ningun capacitor de Bypass.

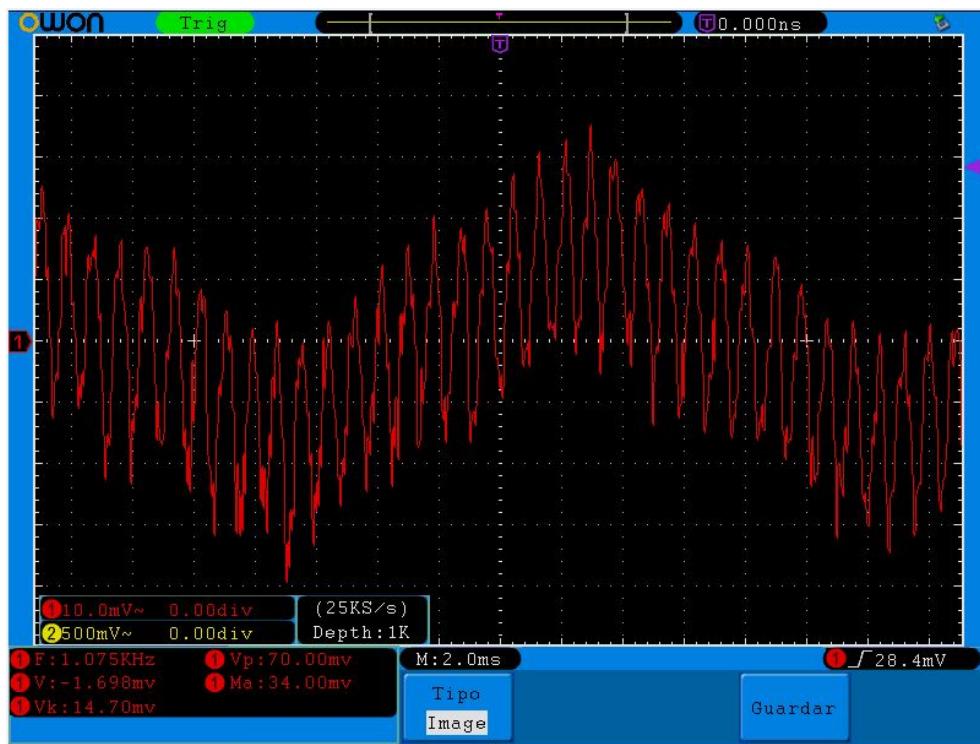


Figura 4.6: Corriente baja con micro sin capacitores

La Figura 4.7 muestra la señal de salida del sensor para baja corriente y con el microcontrolador PIC con el cristal de 48MHz con 2 capacitores de Bypass electrolítico de  $1\mu\text{F}$ .

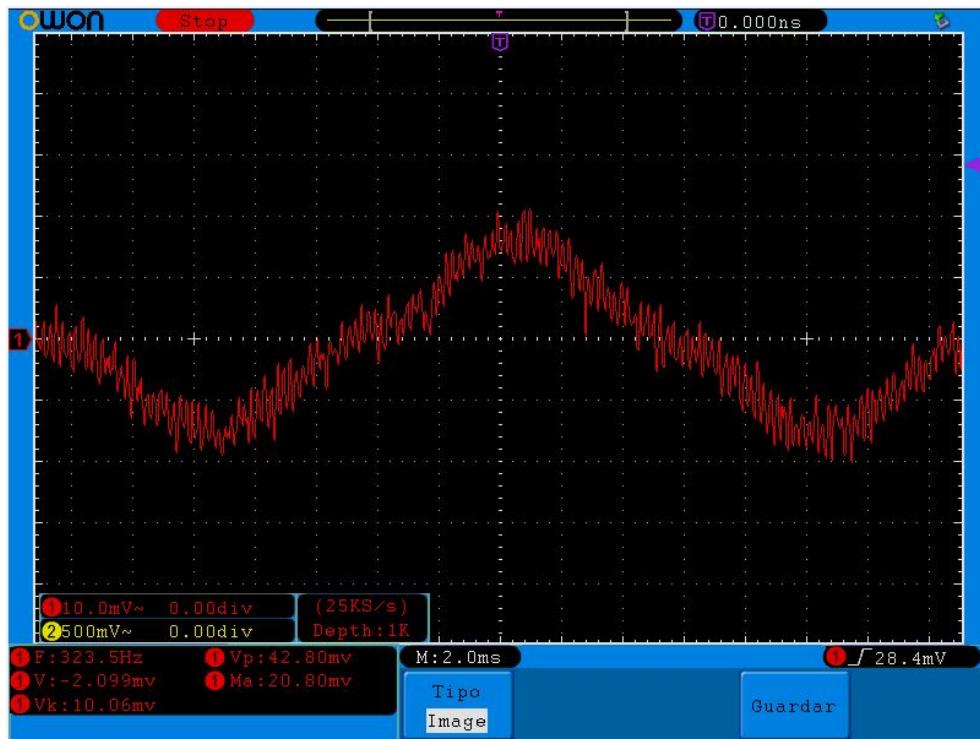


Figura 4.7: Corriente baja con micro sin capacitores

La Figura 4.8 muestra la señal de salida del sensor para una corriente elevada y con el microcontrolador PIC con el cristal de 48MHz sin ningún capacitor de Bypass.



Figura 4.8: Corriente alta con micro con capacitores

La Figura 4.9 muestra la señal de salida del sensor para una corriente elevada y con el microcontrolador PIC con el cristal de 48MHz con 2 capacitores de Bypass electrolítico de  $1\mu\text{F}$ .

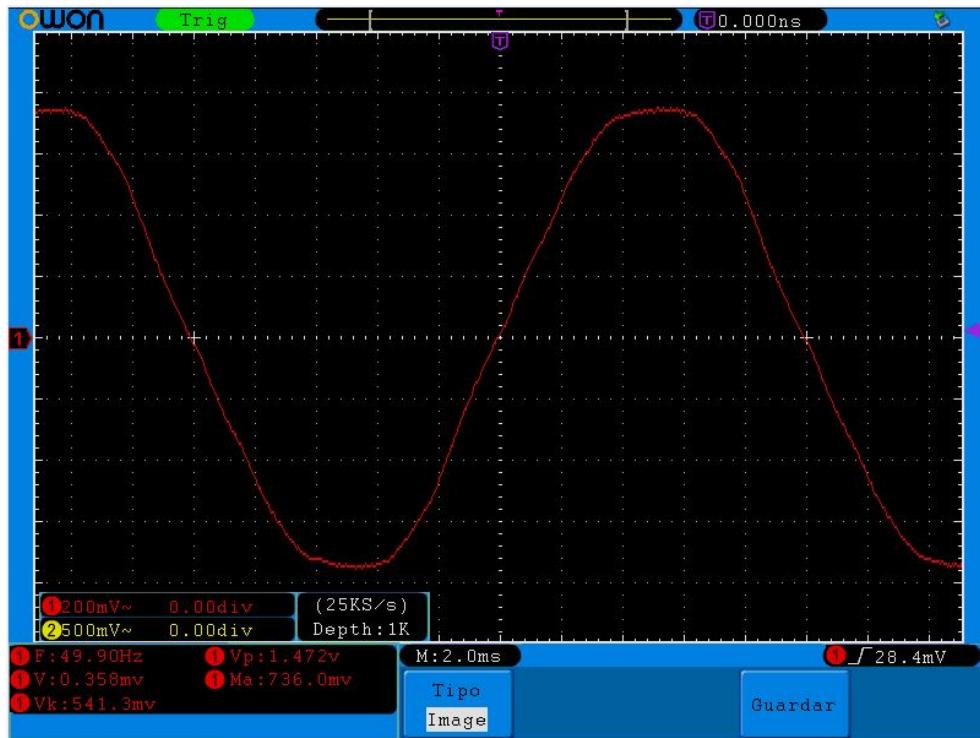


Figura 4.9: Corriente alta con micro con capacitores

Luego de ver las imágenes se puede concluir que la teoría descripta se condice con la realidad, siendo fácil de imaginar los problemas que el ruido puede generar en un sistema de adquisición de datos teniendo en cuenta la gran distorsión que las señales que contienen la información sufren por esta causa.

Como conclusión de este capítulo, la recomendación es siempre tomarse el tiempo para resolver este estilo de problemas, porque el resultado final lo vale y se le da una gran fiabilidad al sistema que en este caso debe mantener una exactitud en la medida por años o hasta décadas.



# Capítulo 5

## Conclusiones

### 5.1. Conclusión

El prototipo desarrollado permite ser conectado a la red eléctrica hogareña promedio, teniendo en cuenta que el firmware es desarrollado para 50 Hz, aunque fácilmente se podría configurar para 60 Hz, o que varíe automáticamente. Por tanto, se logró un dispositivo bidireccional con la capacidad de medir la energía absorbida a la red y la energía entregada a la red, posibilitando la generación eléctrica distribuida en Argentina, además de traer al mercado nacional un producto de menor costo sin necesidad de importarlo.

Los objetivos planteados se han logrado de manera satisfactorio, logrando diseñar un sistema Medidor de Energía bidireccional e inteligente que ofrece una amplia cantidad de información al usuario, como puede ser, la energía en kWh, en Wh, la tensión RMS, la corriente RMS y el  $\cos(\phi)$ , dejando de lado los antiguos medidores con los cuales no se permite ni interactuar al usuario.

La etapa acondicionamiento de la tensión de línea fue uno de los problemas a solucionar a lo largo de todo el proyecto, además de tener muy pocos conocimientos de potencia y riesgo de cortocircuitar todo, pero luego de una amplia investigación se logró una adaptación segura al sistema de medición.

La etapa de acondicionamiento de corriente no fue un gran inconveniente gracias a los transductores de corriente por efecto Hall que simplifican ampliamente la medición de corriente de línea obteniendo una aislación galvánica de excelente calidad.

Se destaca del proyecto, la amplia variedad de conocimientos que se han adquirido acompañados también de práctica, que en mi parecer es la mejor forma de aprender. No solo de la materia Procesadores II e Interfaces sino también sobre como encarar un proyecto o como organizarse con el mismo, que a primera vista parece sencillo pero cuando no se tiene la experiencia necesaria todo es más engorroso. Prácticas como estas nos preparan para nuestro futuro profesional.

### 5.2. Trabajos futuros

- Cambiar el amplificador de aislamiento capacitivo por uno óptico, recordemos que el amplificador que se utiliza en el prototipo tiene una ganancia de 8 que también amplifica el ruido además de que debemos atenuar la señal útil, de  $311 \text{ V}_P$  a  $250 \text{ mV}_P$ . Los amplificadores de aislamiento óptico permiten por lo general una ganancia de 1 o menos, lo que evitaría tener que reducir la tensión de línea a niveles tan pequeños cercanos a los valores del ruido. Este cambio le daría mayor exactitud al sistema.

- El diseño de una fuente flyback, que es una fuente conmutada, está conformada por un conversor DC-DC y un transformador de alta frecuencia permite obtener varias tensiones, que en nuestro caso deben estar completamente aisladas para la alimentación del amplificador AMC1200.
- El diseño y producción de un chasis específico para contener y proteger todo el sistema de condiciones adversas, además de la migración a tecnología SMD para la reducción del ruido en el sistema, ya que el consumo no es crítico.
- Uso de la tecnología Zigbee, utilizando un protocolo que permita la interconexión de medidores en una futura ciudad inteligente. Sería un gran avance para adquirir información en tiempo real, para cualquier tipo de análisis.

# Capítulo 6

## Bibliografías y referencias

- [1] “Instrumentación Electrónica” – Miguel A.Perez García - Editorial Thomson - 2004
- [2] “Manual PIC18F4550” – Microchip Technology Inc.
- [3] “Understanding Single-Ended, Pseudo-Differential and Fully-Differential ADC Inputs” – Application Note 1108 – Maxim Integrated
- [4] Foro de Microcontroladores TODO PIC. [www.todopic.com.ar/foros/](http://www.todopic.com.ar/foros/)
- [5] Guía Básica de la Generación Distribuida - Fenercom
- [6] “Anti-Aliasing, Analog Filters for Data Acquisition Systems” – Application Note 699 Bonnie C. Baker – Microchip Technology Inc.
- [7] “Simple Methods for Detecting Zero Crossing” – R.W.Wall, Senior Member, IEEE
- [8] “Circuitos eléctricos” – James W.Nilsson, Susan A. Riedel – PEARSON Prentice Hall – Septima edición – 2005
- [9] “Señales y Sistemas” – A. V. Oppenheim y A. S. Willsky, – Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. México – 1998 (2 edición).
- [10] “Dispositivos Electrónicos” – Thomas L. Floyd – PEARSON Educación, México – Octava edición – 2008
- [11] “Introducción al análisis de circuitos” – Robert L. Boylestad –PEARSON Educación, Mexico – Decimosegunda edición – 2011
- [12] “Fundamento de Electricidad” – Milton Gussow – McGraw-Hill
- [13] “Ruidos en los sistemas con MCUs ..... ¿Cómo controlarlos?” [www.edudevice.com.ar](http://www.edudevice.com.ar)
- [14] Guía rápida PIC C
- [15] “Principios de Electrónica” – Malvino — 6ta Edición Editorial McGraw Hill 2000
- [16] “Interfacing PIC Microcontroller” – Martín Bates – Editorial Elsevier – 2006
- [17] “Designing an anti-aliasing filter for ADCs in the frequency domain” – Bonnie C. Baker – Texas Instruments
- [18] “Medición de las variables eléctricas de una batería de auto” [www.josfelgariv.blogspot.com.ar/](http://www.josfelgariv.blogspot.com.ar/)
- [19] “Podómetro” [www.josfelgariv.blogspot.com.ar/](http://www.josfelgariv.blogspot.com.ar/)

- [20] “Automovile current sense”. [www.ti.com/ww/en/more/solutions](http://www.ti.com/ww/en/more/solutions)
- [21] “Registrador Automático de datos” – Sergio Fernando Hernández Velázquez – 2014.
- [22] Data Sheets de componentes involucrados

# Apéndice A

## Anexo A. Manual de usuario aplicación: EnergyHome

Este manual de usuario se centra en explicar como lograr la comunicación entre un dispositivo con sistema operativo Android (con la app **EnergyHome**) y el sistema de medición de energía. Para comenzar, debemos comprobar que el sistema de adquisición se encuentra energizado, luego procedemos a instalar la aplicación de la siguiente manera:

1. Desde un celular con sistema operativo Android con bluetooth, entrar en configuración o ajustes
2. Luego, ir hasta seguridad
3. Seleccionar el casillero "Orígenes desconocidos" (La app todavía no se encuentra en el App Store de Android)
4. Luego con un lector de código QR, reconocer el código de la Figura A.1 e instalar la aplicación.

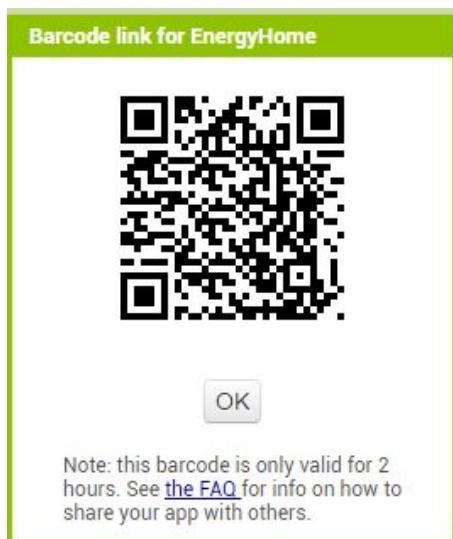


Figura A.1: Código QR para descarga de aplicación

## Diferentes pantallas de la aplicación EnergyHome

Una vez instalada la app es necesario seguir algunos pasos antes de ingresar a ella. Lo primero, es vincular el celular con el dispositivo ”**ENERGYxx**”, para ello se debe buscarlo desde la ventana de configuración del bluetooth desde el celular, una vez encontrado se conecta poniendo la clave correspondiente, en esta V 1.0 la clave es **1234**, Figura A.2.



Figura A.2: Pantalla configuración del Bluetooth Android

Ya vinculado se ingresa a la app, y se conecta con el dispositivo clickeando en conectar (Figura A.3), y clickeando en la lista desplegable el dispositivo vinculado. En la pantalla principal, también se puede ver los consumos mensuales (Figura A.4) sin necesidad de estar conectado al sistema (solo si tiene información de consumos), y también configurar los rangos de avisos de tensión máxima, tensión mínima y corriente máxima, Figura A.5.



Figura A.3: Pantalla principal de EnergyHome



Figura A.4: Ventana consumo mensual de EnergyHome



Figura A.5: Ventana configuración de EnergyHome

En la Figura A.4 se debe hacer click en CONSUMO MENSUAL para ingresar a la lista de la Figura A.6, y poder seleccionar el mes que se desea ver.

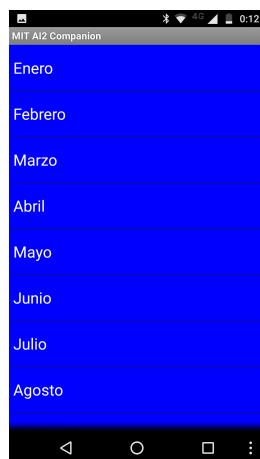


Figura A.6: Ventana lista meses de EnergyHome

Luego se muestra en la Figura A.7 el menú desplegable para seleccionar la opción que se desee, y la ventana donde se muestra la información requerida de la Figura A.8.

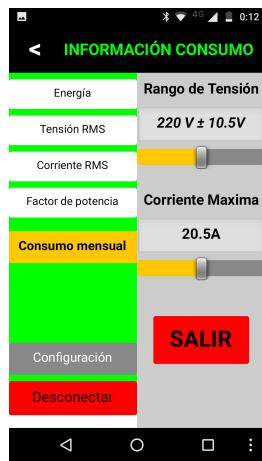


Figura A.7: Ventana menú desplegable de EnergyHome



Figura A.8: Ventana información de EnergyHome