

**PROTOTIPO ANALIZADOR DE CALIDAD DE PARÁMETROS DE POTENCIA  
ELÉCTRICA**

**VÍCTOR FABIÁN PÉREZ ROJAS**

**DIANA MARCELA SUÁREZ SERRANO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2008**

**PROTOTIPO ANALIZADOR DE CALIDAD DE PARÁMETROS DE POTENCIA  
ELÉCTRICA**

**VÍCTOR FABIÁN PÉREZ ROJAS**

**DIANA MARCELA SUÁREZ SERRANO**

**Proyecto de grado para optar por título de Ingeniero Electrónico**

**Director  
ADOLFO TORRES CALDERON  
Ing. Electricista Ing. de Sistemas**

**UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2008**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Bucaramanga, 29 de Febrero de 2008

*A Dios por brindarme la sabiduría, la tranquilidad, y por nunca abandonarme para poder alcanzar este logro.*

*A mis padres Víctor Hugo y Amparo por el apoyo incondicional, la paciencia y afecto que me han dado para culminar una etapa más en mi vida.*

*A mi esposa Roció por todo el apoyo, entrega y cariño que me ha brindado durante este proceso de mi vida y por darme lo mas lindo de este mundo.*

*A mi hija Ana María por ser la razón de mi existencia y regalarme siempre una sonrisa cuando más lo necesitaba.*

*A mi hermano Fabio por creer en mí, por tenerme paciencia y nunca darme la espalda.*

*A mi familia y personas más cercanas quienes han contribuido en mi desarrollo personal.*

*A mis Amigos, parceros del alma que se me adelantaron, pero que creyeron en mi.*

*A todos Ustedes les dedico este libro.*

**VÍCTOR FABIÁN**

*A Dios por acompañarme siempre en todo momento de dificultad, por permitirme terminar satisfactoriamente mis estudios y porque ha sido, es y será mi guía.*

*A mis Padres Eduardo Enrique y Débora quienes me infundieron la ética y el rigor que guían mi transitar por la vida, por toda la paciencia y la fe que depositaron en mi en este largo camino.*

*A mis hermanos Kike, Cristian y Camilo por su amor y apoyo incondicional.*

*A todos mis familiares y amigos que siempre están ahí para darme toda la fortaleza.*

**DIANA MARCELA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por habernos acompañado a lo largo del camino y brindarnos la oportunidad de culminar esta etapa de nuestra vida y por habernos dado la fuerza necesaria para no desfallecer en nuestro intento de graduarnos.

A nuestro director Adolfo Torres por guiarnos con paciencia y dedicación durante este largo proceso de aprendizaje.

A nuestros calificadores Claudia L. Rueda y Ricardo Galvis por el tiempo dedicado y las orientaciones ofrecidas en el desarrollo de este proyecto.

A los ingenieros Alex Monclou, Juan Carlos Villamizar, Omar Pinzón y Señor Mariño por su interés y colaboración que hicieron posible llegar a la realización de este trabajo.

A nuestros amigos y compañeros de curso quienes estuvieron con nosotros durante el transcurso de la carrera.

A Dorisita, docentes y demás personal administrativo quienes estuvieron dispuestos a brindarnos su atención y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A todos ellos les estaremos eternamente agradecidos.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo General.....	17
1.1.2 Objetivo Especifico.....	17
1.2 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	17
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL TRIFASICA.....	19
2.1.1 Filtrado de la Señal.....	19
2.1.2 Circuitos Trifásicos.....	20
2.1.2.1 Definiciones.....	21
2.1.2.2 Voltaje trifásico.....	24
2.1.2.2.1 Voltajes de Fase.....	24
2.1.2.2.2 Neutro.....	25
2.1.2.2.3 Partes de los circuitos trifásicos.....	25
2.1.2.2.4 Mediciones de un circuito trifásico.....	26
2.1.3 Transformadores de Medida.....	27
2.1.3.1 Transformadores de Voltaje.....	27
2.1.3.2 Transformadores de Corriente.....	28
2.2 MEDIDOR DE ENERGÍA ADE 7758.....	30
2.2.1 Características.....	30
2.2.2 Beneficios de medidores electrónicos.....	32

2.3 PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES DSP 56F801 .....	34
2.3.1 Características.....	34
2.3.2 Arquitecturas Estándar en DSP's.....	36
2.3.3 Características y cualidades en los DSP's mas comunes.....	37
2.3.4 Diferencias entre Microcontroladores y DSP's.....	38
2.3.5 Ventajas y Desventajas de los DSP's.....	40
2.4 CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	41
2.4.1 Definiciones.....	41
2.4.2 Indicadores de Calidad.....	44
2.4.3 Calidad del Servicio Prestado.....	45
2.4.4 Importancia de la Calidad de Energía.....	46
2.4.5 Problemas de la Calidad de Energía.....	46
2.5 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN.....	49
2.5.1 Codewarrior.....	49
2.5.2 Matlab.....	49
2.5.3 Lenguaje de Programación.....	50
3. ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO.....	52
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	52
3.2 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES.....	52
3.2.1 Fuente de Alimentación.....	52
3.2.2 Adaptación Señal Trifásica.....	53
3.2.3 Control de Dispositivos.....	56
3.2.4 Despliegue de la Información.....	57
3.2.5 Almacenamiento de Datos.....	57
3.2.6 Interfaz de Usuario.....	57

3.3	VARIABLES MONITOREADAS.....	58
3.3.1	Voltaje y Corriente RMS.....	58
3.3.2	Frecuencia.....	58
3.3.3	Potencia Activa, Reactiva y Aparente.....	58
3.3.4	Indicador THDV.....	59
3.3.5	Indicador Pst.....	59
3.3.5.1	Continuidad del Servicio.....	59
3.3.5.2	Desviación estacionaria de tensión RMS.....	59
3.4	CONDICIONES DE TRABAJO Y ESPECIFICACIONES DE MEDIDAS.....	60
4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	61
4.1	HARDWARE.....	61
4.1.1	Modulo fuente de alimentación.....	61
4.1.2	Modulo acondicionamiento señal trifásica.....	63
4.1.2.1	Medición de Tensión.....	64
4.1.2.1.1	Etapa de Atenuación y Acondicionamiento de Tensión.....	64
4.1.2.2	Medición de Corriente.....	66
4.1.2.2.1	Etapa de Atenuación y Acondicionamiento de Corriente.....	67
4.1.3	Modulo ADE 7758.....	69
4.1.4	Modulo DSP 56F801.....	70
4.1.5	Modulo LCD.....	71
4.1.6	Modulo RTC-EEPROM.....	72
4.1.7	Modulo Puente USB.....	73
4.1.8	Implementación.....	74

4.2 SOFTWARE.....	75
4.2.1 Entorno de Programación Codewarrior.....	75
4.2.1.1 Comunicación DSP-ADE.....	79
4.2.1.2 Comunicación DSP-LCD.....	83
4.2.1.3 Comunicación DSP-RTC-EEPROM.....	89
4.2.1.4 Comunicación DSP-PC.....	93
4.2.2 Entorno de Programación Matlab.....	94
4.2.2.1 Interfaz de Usuario.....	99
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.....	103
6. CONCLUSIONES.....	105
Bibliografía.....	106
Anexos.....	11
Tablas.....	12
Figuras.....	13

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Manual de Usuario.....	110
Anexo 2. Programación Codewarrior (CD1).	
Anexo 3. Programación Matlab (CD1).	

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Porcentaje THDV.....	59
Tabla 2. Voltajes de Alimentación.....	61
Tabla 3. Pruebas Divisor de Tensión.....	66
Tabla 4. Pruebas Transformador de Corriente.....	68
Tabla 5. Conexión ADE-DSP.....	69
Tabla 6. Conexión LCD-DSP.....	71
Tabla 7. Conexión RTC-EEPROM-DSP.....	72
Tabla 8. Conexión USB.....	73
Tabla 9. Señales de comunicación SPI del ADE7758.....	79
Tabla 10. Descripción botones del Guide.....	97

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Filtro RC.....	19
Figura 2. Potencia en un Sistema Monofásico.....	21
Figura 3. Potencia en un Sistema Trifásico.....	21
Figura 4. Diagrama fasorial de tensiones de fase en un sistema trifásico.....	22
Figura 5. Voltajes de fase en circuito trifásico.....	24
Figura 6. División de un Circuito Trifásico.....	25
Figura 7. Mediciones en circuito trifásico.....	26
Figura 8. Conexión de un transformador de intensidad a un aparato de medida.....	28
Figura 9. Transformador de corriente, con el secundario cerrado en cortocircuito.....	29
Figura 10. Diagrama de Bloques del ADE7758.....	31
Figura 11. Diagrama de bloques de la arquitectura del PIC-12C5XX.....	38
Figura 12. Diagrama de bloques del DSP TMS320F241.....	39
Figura 13. Proceso de Compilación.....	51
Figura 14. Diagrama de Bloques del Prototipo Analizador de Calidad de Potencia Eléctrica.....	52
Figura 15. Fuente de Alimentación.....	53
Figura 16. Adaptación señal trifásica.....	54
Figura 17. Conexión Canal de Corriente.....	55
Figura 18. Conexión Canal de Voltaje.....	55

	Pág.
Figura 19. Control de Dispositivos.....	56
Figura 20. Fuente de Alimentación.....	62
Figura 21. Acondicionamiento señal trifásica.....	63
Figura 22. Respuesta en Frecuencia de filtro RC.....	64
Figura 23. Divisor de Tensión.....	65
Figura 24. Transformador de Corriente.....	66
Figura 25. Medición de Corriente.....	67
Figura 26. Relación Voltaje salida vs Corriente de Entrada.....	67
Figura 27. Relación Corriente Entrada vs Corriente de Salida.....	68
Figura 28. Conexión ADE-DSP.....	69
Figura 29. Conexión JTAG-DSP.....	70
Figura 30. Conexión LCD-DSP.....	71
Figura 31. Conexión RTC-EEPROM-DSP.....	72
Figura 32. Conexión CP2102-DSP.....	73
Figura 33. Hardware final prototipo ACPE.....	74
Figura 34. Diagrama de Comunicación SPI del ADE7758.....	79
Figura 35. Diagrama de tiempos Operación de Escritura.....	89
Figura 36. Diagrama de tiempos Escritura Secuencial. ....	90
Figura 37. Diagrama de tiempos Lectura Actual.....	90
Figura 38. Diagrama de tiempos Lectura Arbitraria.....	91
Figura 39. Diagrama de tiempos Lectura Secuencial.....	91

## RESUMEN

Teniendo en cuenta que la masificación del uso de equipo electrónico con alta susceptibilidad a las fluctuaciones de tensión (Computadores Personales, Servidores, televisores, consolas de video, etc.), así como el alto impacto que tienen las discontinuidades por desviaciones de la forma de onda estándar sobre el sector productivo, se hace necesario reflejar estos fenómenos con indicadores de calidad de la continuidad del servicio, complementarios a los existentes (Frecuencia y Duración de las interrupciones), que permita condensar la gran cantidad de información en el tiempo y cuantificar adecuadamente el impacto de las fluctuaciones de tensión en un corto plazo. El objetivo de este proyecto, es diseñar y construir un prototipo analizador de calidad de potencia eléctrica que satisfaga las necesidades, específicamente en el campo de la distribución residencial con entrada trifásica a 60Hz, basándose en los estándares de calidad de energía de la CREG. Este tipo de equipo de medición ya existe en el mercado, sin embargo son muy costosos al igual que su mantenimiento y expansión y además opera con plataforma cerrada. Con los frecuentes cambios en la tecnología, la industria se ve obligada a realizar cambios periódicos de los equipos, buscando cumplir con normas reguladoras, o bien, con beneficios económicos. Por tal motivo se ha implementado una plataforma abierta la cual permite hacer cambios en el sistema, sin necesidad de reemplazar el equipo. Este prototipo está construido con dispositivos que incorporan las más recientes tecnologías; tales como DSP (Procesamiento Digital de Señales) de Motorola, dispositivo medidor de energía de Analog Devised y conector USB.

## ABSTRACT

Considering that the mass use of electronic equipment with high susceptibility to fluctuations in voltage (Personal computers, servers, televisions, video consoles, etc.), As well as the high impact of the discontinuities by deviations from the way Wave standard on the productive sector, it is necessary to reflect these phenomena with indicators of quality of continuity of service, complementary to the existing (frequency and duration of interruptions), through which condense the wealth of information in time to adequately quantify the impact of fluctuations in voltage in a short term. The objective of this project is to design and build a prototype analyzer quality of electrical power that meets the needs, specifically in the field of distribution residential entry three-phase at 60Hz, based on the quality standards of energy CREG. This Measuring equipment already exists in the market, however they are very costly as well as its maintenance and expansion and also operates platform closed. With frequent changes in technology, the industry is forced to make regular changes of the teams, seeking to comply with regulatory standards, or with economic benefits. That is why we have implemented an open platform which allows for changes in the system, without the need to replace the equipment. This prototype is built with devices that incorporate the latest technologies, such as DSP (Digital Signal Processing) from Motorola MEASURING DEVICE energy Analog Deviced and USB connector.

## INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que la masificación del uso de equipo electrónico con alta susceptibilidad a las fluctuaciones de tensión (Computadores Personales, Servidores, televisores, consolas de video, etc.), así como el alto impacto que tienen las discontinuidades por desviaciones de la forma de onda estándar sobre el sector productivo, se hace necesario reflejar estos fenómenos con indicadores de calidad de la continuidad del servicio, complementarios a los existentes (Frecuencia y Duración de las interrupciones), que permita condensar la gran cantidad de información en el tiempo y cuantificar adecuadamente el impacto de las fluctuaciones de tensión en un corto plazo.

La Resolución CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) 070 de 1998 adoptó el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, el cual contiene las normas sobre la calidad en la prestación del servicio de distribución de electricidad. Adicionalmente, la Resolución 024 de 2005, modificó las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de distribución de energía eléctrica.

Estas dos resoluciones CREG se han convertido en la "brújula" para todos los agentes relacionados con la energía eléctrica en Colombia que cada vez es más exigente en materia de calidad y confiabilidad para garantizar un buen servicio a los usuarios. Sin embargo, todavía existe un desconocimiento sobre cómo afrontar las exigencias de la regulación y cómo implementarlas al interior de las empresas. Es evidente que las millonarias multas, como consecuencia del incumplimiento de la ley pone en riesgo el futuro de las mismas.

Este tipo de equipo de medición ya existe en el mercado, sin embargo son muy costosos al igual que su mantenimiento y expansión y además opera con plataforma cerrada.

El objetivo de este proyecto, es diseñar y construir un prototipo analizador de calidad de potencia eléctrica que satisfaga las necesidades, específicamente en el campo de la distribución residencial con entrada trifásica a 60Hz, basándose en los estándares de calidad de energía de la CREG.

Con los frecuentes cambios en la tecnología, la industria se ve obligada a realizar cambios periódicos de los equipos, buscando cumplir con normas reguladoras, o

bien, con beneficios económicos. Por tal motivo se ha implementado una plataforma abierta la cual permite hacer cambios en el sistema, sin necesidad de reemplazar el equipo.

Este prototipo está construido con dispositivos que incorporan las más recientes tecnologías; tales como DSP (Procesamiento Digital de Señales) de Motorola, dispositivo medidor de energía de Analog Devided y conector USB.

Hay seis etapas de diseño que componen este prototipo:

La primera es el acondicionamiento de la señal trifásica, que comprende el uso de transformadores de corriente y voltaje, seguido de unos filtros utilizados para cada fase que llevan las señales directamente al medidor de energía.

En la segunda etapa se estudia el dispositivo medidor de energía; específicamente la teoría de operación necesaria, para obtener los parámetros requeridos de la señal trifásica.

La tercera etapa estudia el DSP utilizado y su software de aplicación.

La siguiente etapa se basa en el estudio integral del protocolo de comunicación entre el DSP y el medidor de energía, para el despliegue de los parámetros requeridos de la red de energía eléctrica.

Las dos últimas fases del prototipo corresponden al almacenamiento y despliegue de la información.

## **PRESENTACIÓN DEL PROYECTO**

### **OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un prototipo analizador de calidad de potencia eléctrica a partir de los requerimientos de la resolución 24 de 2005 de la comisión de regulación de energía y gas (CREG).

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir un circuito acondicionador (CAS) de señal para sensar las señales de voltaje y corriente de la red.
- Diseñar y construir un circuito de medición y control basado en DSP56F80X.
- Diseñar y construir una interfaz de programación USB para el analizador de calidad de potencia eléctrica.
- Diseñar e implementar un software de configuración y de control para el analizador de calidad de potencia eléctrica basado en Matlab.

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

Se pretende diseñar y construir un prototipo de calidad de parámetros de potencia eléctrica que cumpla con las especificaciones planteadas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG). El prototipo registrará la información para evaluar la calidad del servicio de energía eléctrica. El daño ecológico y económico que producen los equipos que no se adecúan bajo los parámetros de calidad de potencia es elevado. Estos equipos pueden ser perjudiciales no sólo para el ambiente sino también para los usuarios que no conozcan acerca de estos

parámetros. Por tal razón se han expedido normas y restricciones para el uso de los equipos eléctricos.

## **JUSTIFICACION**

El prototipo de calidad de energía eléctrica que se plantea se ve reflejado en la necesidad que tiene la comisión de regulación de energía y gas (CREG) de regular las distorsiones de energía que presenta la red y además en el elevado costo de este equipo en el mercado.

### **1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Este tipo de equipo de medición ya existe en el mercado, sin embargo estos equipos son muy costosos al igual que su mantenimiento y expansión y además opera con plataformas cerradas. El diseño y construcción del prototipo dispondrá de un cambio regulatorio en su plataforma para la adquisición de las deficiencias presentadas en la calidad de suministro de potencia eléctrica; además de resultar un equipo más económico para el mercado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

Difícilmente un diseñador conecta un transductor sin acoplar su señal de salida, ya que esta, por lo general es muy débil o contiene ruido y/o componentes que no deseamos, por esta razón se incluye en todo circuito una etapa de acondicionamiento de señal.

**2.1.1 Filtrado de la Señal.** Un filtro<sup>1</sup> es un sistema que, dependiendo de algunos parámetros, realiza un proceso de discriminación de una señal de entrada obteniendo variaciones en su salida, debe tener al menos un elemento reactivo (inductor o capacitor). Hay varios tipos de filtros así como distintas clasificaciones para estos filtros, de acuerdo con la parte del espectro que dejan pasar y que atenúan hay: filtros pasa alto, filtros pasa bajo<sup>2</sup>, filtros pasa banda. También existen filtros según su orden, etc. Para nuestra aplicación se utilizará un filtro RC, o bien un filtro RC pasa bajo como el de la figura a continuación, es decir que será un filtro pasivo<sup>3</sup>. Debemos tener en cuenta que un circuito con solo un elemento reactivo es un "filtro de primer orden", si el circuito tiene dos elementos reactivos es un "filtro de segundo orden", etc. La diferencia que existe entre un filtro de primer orden y un filtro de orden mayor es la curva de respuesta de frecuencia.

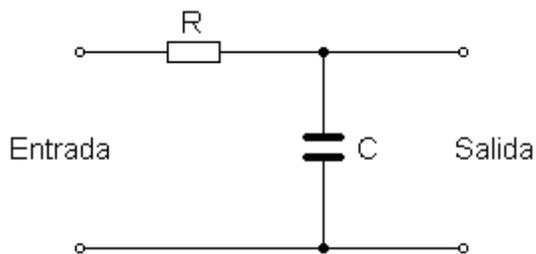


Figura 1. Filtro RC.

<sup>1</sup> Los filtros son redes que permiten el paso o detienen el paso de un determinado grupo de frecuencias (banda de frecuencias).

<sup>2</sup> Son aquellos que introducen muy poca atenuación a las frecuencias que son menores que una determinada, llamada frecuencia de corte. Las frecuencias que son mayores que la de corte son atenuadas fuertemente.

<sup>3</sup> El circuito del filtro está formado por resistencias, condensadores y/o bobinas (componentes pasivos) se dirá entonces que es un filtro pasivo.

El funcionamiento de este circuito como filtro pasa bajo es fácil de entender. El condensador presentará una gran oposición al paso de corriente debido a frecuencias bajas y como forma un divisor de tensión con la resistencia, aparecerá sobre él casi toda la tensión de entrada. Para frecuencias altas el condensador presentará poca oposición al paso de la corriente y en la resistencia se quedará casi el total de la tensión de entrada, apareciendo muy poca tensión en extremos del condensador.

**2.1.2 Circuito Trifásico.** La principal aplicación para los circuitos trifásicos se encuentra en la distribución de la energía eléctrica por parte de la compañía de luz a la población. Nikola Tesla probó que la mejor manera de producir, transmitir y consumir energía eléctrica era usando circuitos trifásicos.

Algunas de las razones por las que la energía trifásica es superior a la monofásica son:

- La potencia de línea de un motor trifásico es aproximadamente 150% menor que la de un motor monofásico de la misma potencia, pero de voltaje L- L (Línea - Línea), además después de 2HP prácticamente todos los motores son trifásicos.
- En un sistema trifásico balanceado los conductores necesitan ser el 75% del tamaño que necesitarían para un sistema monofásico con la misma potencia en VA por lo que esto ayuda a disminuir los costos y por lo tanto a justificar el tercer cable requerido.
- La potencia proporcionada por un sistema monofásico cae tres veces por ciclo. La potencia proporcionada por un sistema trifásico nunca cae a cero por lo que la potencia enviada a la carga es siempre la misma.

En las siguientes figuras se ilustran las formas de onda de la potencia instantánea en un sistema monofásico y en un sistema trifásico:

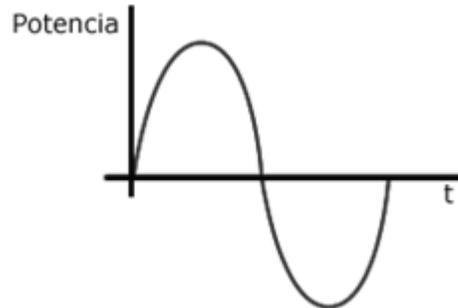


Figura 2: Potencia en un Sistema Monofásico.

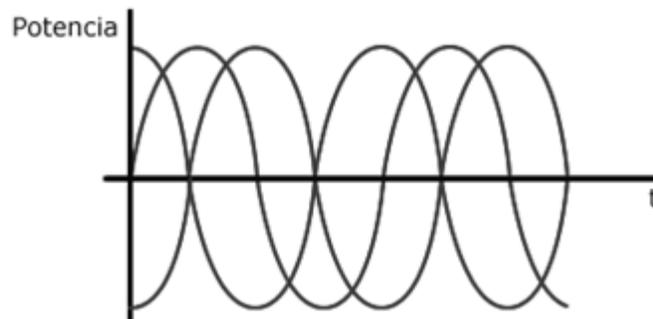


Figura 3: Potencia en un Sistema Trifásico.

**2.1.2.1 Definiciones.** Para entender mejor como funcionan los contadores de energía, es necesario conocer los conceptos fundamentales que tienen que ver con la energía eléctrica:

**Corriente:** Es la tasa de flujo de una carga eléctrica en un punto dado, se mide en Ampere que representa Coulomb/Segundo.

$$i = dq/dt \text{ [A]}$$

**Voltaje:** Es el trabajo necesario para mover una carga eléctrica unitaria y positiva desde el Terminal negativo (-) hasta el positivo (+). Se representa con la unidad Voltio [ V ]. El mismo puede ser Constante DC o Alterno AC si cambia de signo respecto al tiempo.

**Potencia:** Es la razón respecto al tiempo de energía que absorbe o entrega un elemento. Considerando el trabajo  $w$  que lleva mover una carga  $q$  en un determinado período de tiempo, se deduce:

$$p = dw/dt = v \times dq/dt = v \times i \text{ [watts]}$$

**Energía:** Es la capacidad de realizar un trabajo, en términos eléctricos se entiende que una carga de 1 Coulomb “entrega” 1 joule de energía al atravesar un voltaje de 1 Voltio. Si la potencia es la rata de transferencia de energía, replanteando la ecuación anterior se deduce:

$$dw = p \times dt$$

Al integrar en un período de tiempo  $t$ , se obtiene:

$$w = \int_0^t p(t) \times dt$$

**Sistema de Corriente Alterna:** Es el nombre que se le da a la forma predominante de generación, transporte y distribución de energía eléctrica, cuya variación en el tiempo es de forma sinusoidal a una velocidad angular  $\omega$ , debido a que así es producida por generadores que utilizan el principio del motor de inducción. En la ecuación  $V_m$  es voltaje máximo o pico:

$$V(t) = V_m \times \text{sen}(\omega t)$$

**Sistemas Trifásicos:** Es la forma mas común de un sistema polifásico, emplea tres voltajes balanceados de igual magnitud y desfasados en  $120^\circ$ . Su representación gráfica se muestra en la figura:

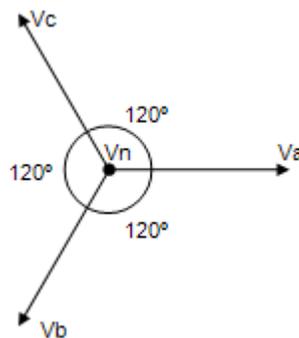


Figura 4: Diagrama fasorial de tensiones de fase en un sistema trifásico.

**Potencia Compleja:** Se define como la multiplicación de los fasores de tensión por el conjugado del fasor de corriente:

$$\mathbf{S} = \mathbf{V} \times \mathbf{I}^*$$

Por ende su módulo es:

$$|\mathbf{S}| = |\mathbf{V}| \times |\mathbf{I}| = V_{rms} \times I_{rms}$$

Y su ángulo:

$$\angle \mathbf{S} = \angle \mathbf{V} - \angle \mathbf{I}$$

Se deduce de las ecuaciones anteriores que la parte real de la potencia compleja es la potencia promedio o activa y la parte imaginaria representa la potencia reactiva.

**Potencia Activa:** Parte de la Potencia Eléctrica que efectivamente se convierte en trabajo, se mide en Watts.

$$P = \mathbf{V} \times \mathbf{I} \times \cos(\Phi) \text{ [watt]}$$

En la ecuación,  $\Phi$  es el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente. Esta definición sólo se cumple para ondas sinusoidales.

**Potencia Reactiva:** Es la potencia que periódicamente absorben y entregan los elementos almacenadores de energía (condensadores y bobinas). Su valor medio es nulo por lo cual no se considera energía "consumida" pero aún así en el proceso de entrega y absorción se hace uso de la línea para el transporte de estas corrientes. Se mide en VAR (volt-ampere reactivos) y representa la parte compleja de la potencia compleja:

$$Q = |\mathbf{V}| \times |\mathbf{I}| \times \sin(\Phi) \text{ [VAR]}$$

En la ecuación,  $\Phi$  es el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente. Esta definición sólo se cumple para ondas sinusoidales.

**Potencia Aparente:** Es la suma Vectorial de la potencia activa y la reactiva, su valor se obtiene al extraer el módulo de la potencia compleja.

$$S = |\mathbf{V}| \times |\mathbf{I}| \text{ [VA]}$$

**Factor de Potencia:** Es la razón entre la potencia activa y la potencia aparente que se entrega a una carga, como muestra la ecuación 1. Cuando la tensión y la corriente son sinodales, el factor de potencia coincide con el coseno del ángulo  $\Phi$ , el cual representa el desfase entre la tensión y la corriente en la carga; esta igualdad es mostrada en la ecuación 2.

$$fp = P / S \quad (\text{Ec. 1})$$

$$fp = |P| / |S| = \cos (\Phi) \quad (\text{Ec. 2})$$

**2.1.2.2 Voltaje trifásico.** Para que los tres voltajes de un sistema trifásico estén balanceados deberán tener amplitudes y frecuencias idénticas y estar fuera de fase entre si exactamente  $120^\circ$ .

En un sistema trifásico balanceado la suma de los voltajes es igual a cero:

$$V_a + V_b + V_c = 0$$

Si las cargas se encuentran de manera que las corrientes producidas por los voltajes balanceados del circuito también están balanceadas entonces todo el circuito esta balanceado.

**2.1.2.2.1 Voltajes de Fase.** Cada bobina del generador puede ser representada como una fuente de voltaje sinodal. Para identificar a cada voltaje se les da el nombre de voltaje de la fase a, de la fase b y de la fase c, como se muestra en la siguiente figura:

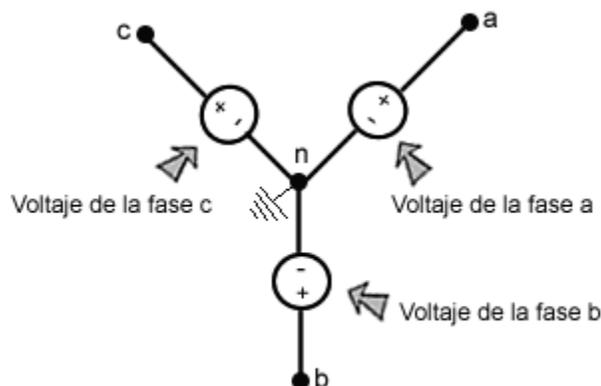


Figura 5. Voltajes de fase en circuito trifásico.

**2.1.2.2.2 Neutro.** Normalmente los generadores trifásicos están conectados en Y para así tener un punto neutro en común a los tres voltajes. Raramente se conecta en delta los voltajes del generador ya que en conexión en delta los voltajes no están perfectamente balanceados provocando un voltaje neto entre ellos y en consecuencia una corriente circulando en delta.

**2.1.2.2.3 Partes de los circuitos trifásicos.** Se puede dividir en tres partes principales:

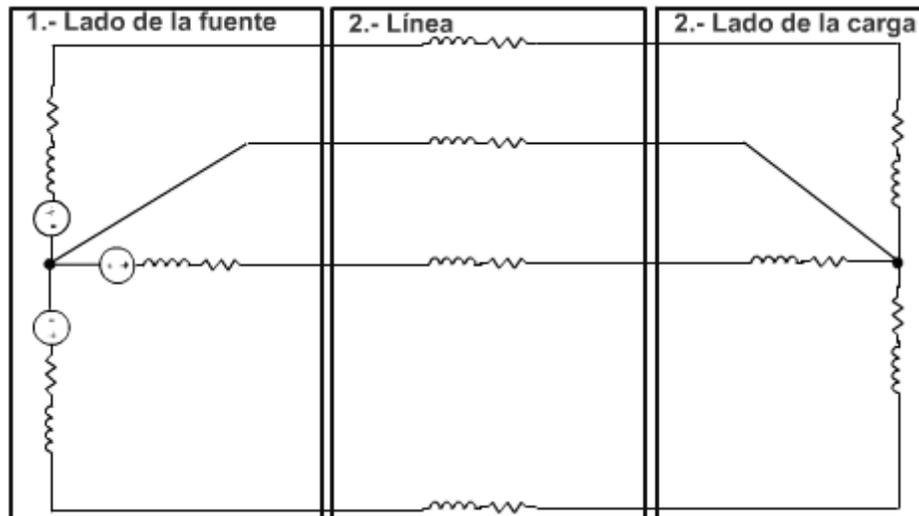


Figura 6. División de un Circuito Trifásico.

- ✓ Lado de la fuente: Consta de las fuentes de voltaje del generador trifásico así como sus respectivas impedancias.
- ✓ Línea: Consta de los cables transformadores y en general todo lo que compone el medio mediante el cual se transmite el voltaje de la fuente hasta las cargas. La línea también tiene una impedancia propia.
- ✓ Lado de la carga: Consta de todo lo que esta consumiendo la potencia generada por la fuente trifásica. Pueden ser aparatos electrónicos, bombillos, fábricas, casas, etc. También tiene impedancia propia.

**2.1.2.2.4 Mediciones de un circuito trifásico.** Las tres tipos de mediciones en un circuito trifásico son:

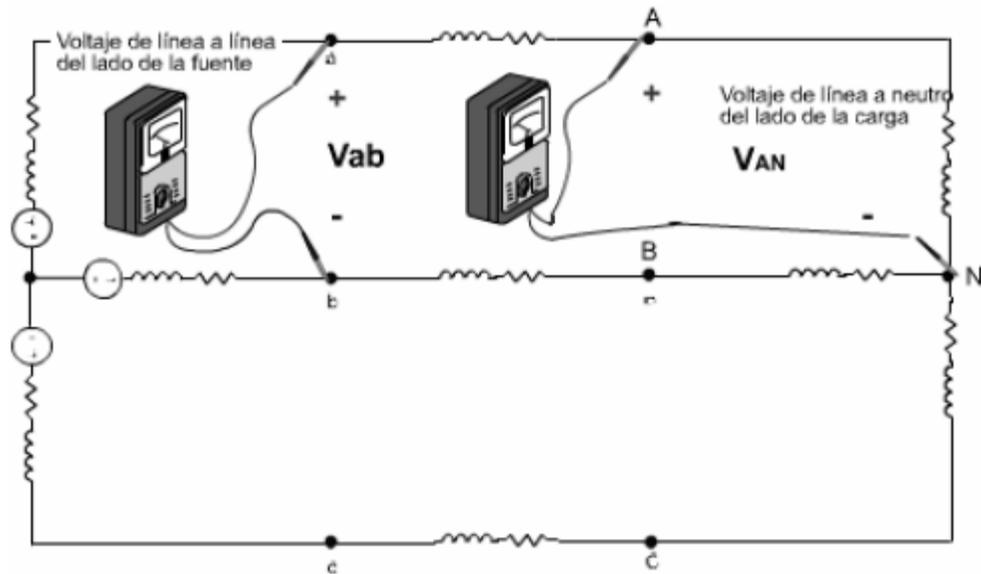


Figura 7. Mediciones en circuito trifásico.

- ✓ Voltaje de línea a línea: Es la diferencia de potencial medida entre dos líneas de transmisión. Como se ve en la grafica, es importante diferenciar el voltaje de línea del lado de la fuente o el voltaje de línea del lado de la carga ya que hacen referencia a medidas diferentes.
- ✓ Voltaje de línea a neutro: Al igual que el voltaje de línea, cuando se refiere del voltaje de línea a neutro se debe especificar si se esta tomando el lado de la fuente o el lado de la carga. Únicamente se puede hablar de voltajes de línea a neutro en circuitos en forma de Y ya que un circuito en forma de  $\Delta$  no existe el neutro.
- ✓ Voltaje de fase: En un circuito en forma de Y el voltaje de fase es el mismo que el voltaje de línea a neutro.

**2.1.3 Transformadores de medida.** Por lo general los aparatos de medida utilizados en las mediciones de corriente alterna, no están contruidos para soportar altas tensiones ni elevadas intensidades de corriente. Además, en los casos de medidas a alta tensión, estos aparatos de medida deben estar aislados de las altas tensiones para protección del personal encargado de las mediciones. Por estas razones, los aparatos de medida se conectan muchas veces a los circuitos cuyas magnitudes deben medir, a través de los denominados transformadores de medida. Son estos por lo tanto los que dan la información precisa a los sistemas de medida, control y protección.

Las principales tareas de los Transformadores de Medida son:

- ✓ Transformar tensiones e intensidades con valores grandes a valores fáciles de manejar por los relés y equipos de medida.
- ✓ Aislar el circuito de medida del sistema primario de alta tensión.
- ✓ Posibilitar la normalización de relés y equipos de medida a unos pocos valores de tensiones e intensidades nominales.

**2.1.3.1 Transformadores de Voltaje.** En el prototipo, no fue pertinente el uso de transformadores de voltaje; sin embargo para completar un poco la parte de transformadores de medida se hará una breve introducción de ellos.

Los transformadores de voltaje son máquinas electromagnéticas que permiten aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

Si suponemos un equipo ideal y consideramos, simplificando, la potencia como el producto del voltaje o tensión por la intensidad, ésta debe permanecer constante (ya que la potencia a la entrada tiene que ser igual a la potencia a la salida).

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están contruidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la tensión alta o baja, respectivamente. También existen transformadores con más devanados, en este caso puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario.

**2.1.3.2 Transformadores de Corriente.** Su aplicación está basada en la relación entre la intensidad de corriente del devanado primario y la intensidad de corriente en el devanado secundario. Al medir la intensidad en el devanado secundario, se determina la del devanado primario, por la relación de transformación.

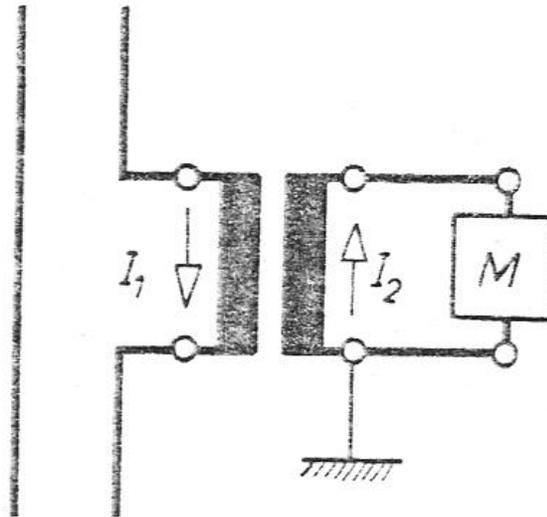


Figura 8. Conexión de un transformador de intensidad a un aparato de medida.

El principio de funcionamiento está basado, como en todos los transformadores, en la acción del flujo magnético alterno producido por la corriente primaria que se cierra a través del núcleo y que acopla la bobina secundaria; en ésta, el flujo magnético induce una fuerza electromotriz. La corriente que circula por las espiras del devanado primario varía con la carga; de la misma forma varía también el valor del flujo magnético producido, que acopla al devanado secundario, induciendo en él una fuerza electromotriz variable.

El devanado secundario de todos los transformadores de intensidad corresponde a la bobina amperimétrica o de intensidad del aparato de medida que está cerrado siempre por medio de una resistencia muy pequeña. Despreciando esta pequeña resistencia, se puede considerar que el secundario de los transformadores de intensidad está cerrado en cortocircuito.

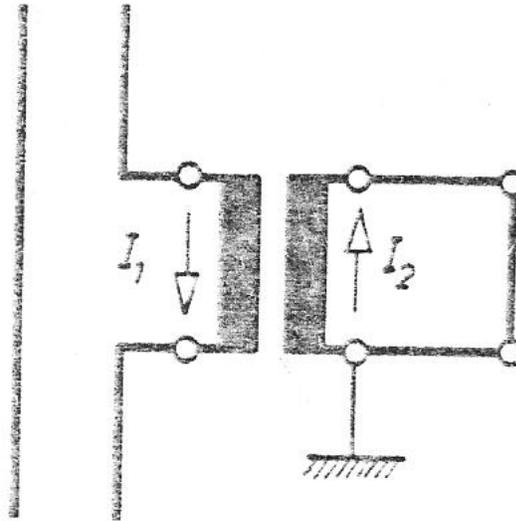


Figura 9. Transformador de corriente, con el secundario cerrado en cortocircuito.

Según se sabe por la teoría del transformador y tal como se expresa en la figura, las corrientes que circulan por los devanados primario y secundario son aproximadamente iguales y opuestas a los amperivoltas secundarios, es decir:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

Donde resulta:

$$N_1/N_2 = I_2/I_1$$

## 2.2 MEDIDOR DE ENERGÍA ADE 7758

La medida de diferentes parámetros de la tensión de la red eléctrica se ha convertido en una importante necesidad tanto a nivel de usuarios industriales como de usuarios domésticos. La necesidad de obtener todos los parámetros posibles sobre la corriente trifásica o monofásica, ya sea de una instalación industrial (trifásica) o residencial (monofásica), ha llevado al desarrollo de diferentes sistemas que permiten obtener datos de la misma.

En los primeros momentos, el funcionamiento de estos dispositivos se basaba en principios electromecánicos, pero ya es posible disponer de sistemas contenidos en un circuito integrado que realizan las funciones necesarias, a partir de una conversión analógica-digital (ADC), en la que los cálculos se realizan en modo digital. Entre estos circuitos integrados modernos, se pueden comentar el ADE7758. Las principales aplicaciones de estos sistemas son: monitorización, control de calidad, facturación y como ventaja, se puede comentar que se obtiene un mejor interfaz con otros sistemas digitales, como pueden ser dsp's, sistemas de comunicaciones, etc.

**2.2.1 Características.** Según las especificaciones suministradas por el fabricante este circuito ofrece como principales características:

- Alta precisión, soportando las normas **IEC<sup>4</sup> 60687, IEC 61036, IEC 61268, IEC 62053-21, IEC 62053-22, e IEC 62053-23.**
- Compatibilidad con las conexiones trifásicas y, delta, 3hilos y 4 hilos.
- Menos del 0,1% de error en la medición de energía activa en un rango dinámico de 1000 a 1
- Adquiere y calcula energía activa, reactiva y aparente, voltaje y corriente rms, además de permitir obtención de la forma de onda de las señales involucradas.
- Salidas pulsantes de frecuencia programable (2 en total), separadas para totalización de la energía activa, reactiva y aparente.
- Capacidad de detección de caídas de tensión, sobretensión, suspensión de servicio, frecuencia de línea e inclusive error en la secuencia de fases conectadas.
- Posee conversores analógico digitales de ganancia programable que permiten la conexión de por ejemplo, un shunt para medición de corriente directamente sin necesidad de alguna interfaz analógica adicional.
- Permite acceso a sus registros mediante comunicación spi.

---

<sup>4</sup> La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC, por sus siglas del idioma inglés *International Electrotechnical Commission*) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

El ADE7758 abarca dos etapas: la de conversión analógico/digital y la de procesamiento de datos y cálculo de variables. Esto es posible ya que el ADE7758 incorpora una circuitería aritmética, programable y consultable a través de la interfaz spi.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques funcional del ADE7758 del cual se extrae la siguiente información:

- Tanto la entrada de corriente como la de voltaje son Diferenciales.
- Los conversores analógicos digitales son de ganancia programable.
- Las salidas pulsantes son el resultado de la suma de potencias activas y reactivas de las tres fases, siendo éstas las únicas salidas que totalizan de manera trifásica.

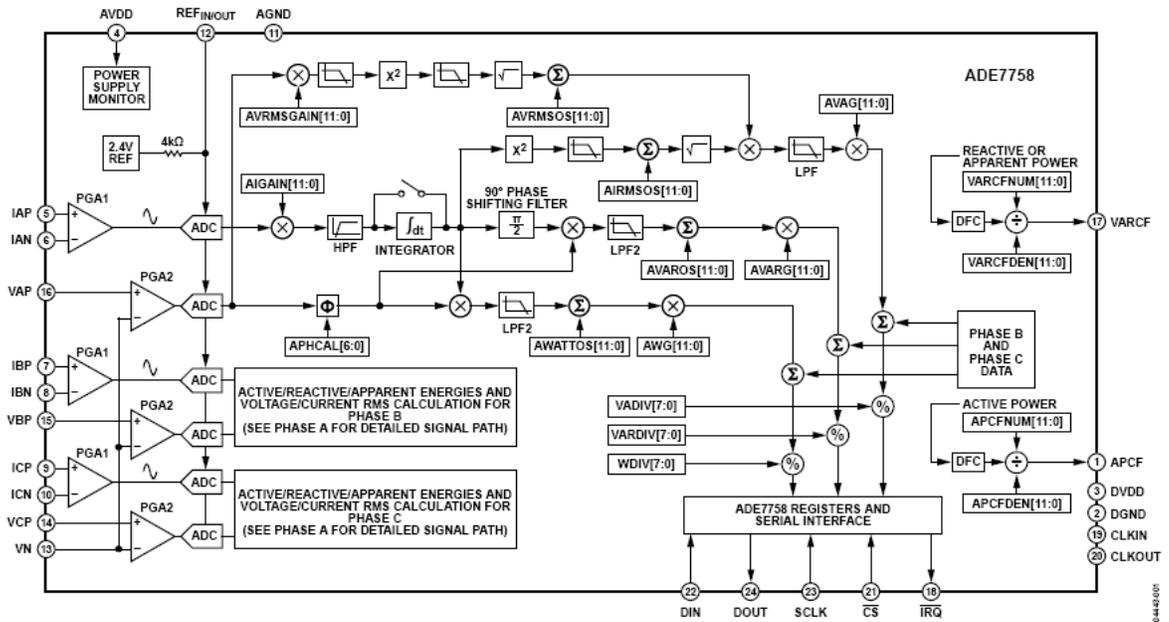


Figura 10. Diagrama de Bloques del ADE7758.

Al estudiar el Manual de especificaciones del ADE7758 se encontró la lista de registros con sus respectivas direcciones, de donde se infiere la información que es posible extraer del chip, por fase:

- Energía activa acumulada W/h.
- Energía reactiva acumulada VAR/h.
- Energía aparente acumulada VA/h
- Corriente RMS
- Voltaje RMS
- Ganancia del Calculo de Voltaje RMS
- Ganancia en el Cálculo de Corriente.
- Ganancias en los cálculos de energía activa, reactiva y aparente.
- Corrección de offset para voltaje, corriente, energía activa, reactiva y aparente.
- Corrección de desfase entre tensión y corriente.

Otro grupo de registros incluyen los de control y los de calibración de parámetros:

- Frecuencia de la línea
- Temperatura exterior (aproximada).
- Forma de onda.
- Selectores de modo de operación, cálculo, medición y adquisición de datos.
- Enmascaramiento y programación de interrupciones.
- Especificación de niveles de tensión, corriente, y tiempos para generar interrupciones en caso de fallas del servicio.
- Ganancia de la primera etapa de conversión analógico/digital.
- Multiplicadores y divisores utilizados para conversión de potencia a frecuencia para la salida pulsante.

**2.2.2 Beneficios de medidores electrónicos.** Durante los últimos años las empresas de servicios públicos han venido incrementando su familiaridad con la electrónica. Se espera que la tasa de adopción de la electrónica aumente rápidamente en la medida que los programas de descentralización en algunos países y desregulación en otros animen a los clientes a exigir más. Todos los consumidores se pueden beneficiar indirectamente de los medidores electrónicos de energía en cuatro formas significativas:

- a. El servicio al cliente se mejora con el uso de sistemas de lectura remota de medidores (amr) y con una eficiente administración de datos. Además de tener menores dudas sobre las facturas de los servicios públicos, los consumidores se benefician de un sistema más eficiente de distribución de

energía. Los apagones se pueden detectar, identificar y corregir más rápidamente para los clientes cuyos medidores están comunicados a través de una red.

- b. Se reducen las molestias y la contaminación ambientales al lograr reducir el tamaño de los equipos de generación eléctrica. Se minimiza el uso durante picos a pesar del crecimiento poblacional por medio de métodos de facturación con tarificación múltiples y se mantiene la limpieza en la distribución al monitorizar la contaminación de la calidad energética que algunos clientes aportan al sistema.
- c. Los consumidores se pueden beneficiar de facturación más baja con el uso de medidores controlados con tarjetas inteligentes (smart cards) que reducen los costos operacionales del servicio, lectura de medidores y procesamiento de datos.
- d. Se logra un aumento en la precisión de la medición a pesar de las cargas no lineales. Los medidores electromecánicos no son capaces de medir con precisión la energía frente a populares esquemas normativos de fase a carga fija en los sistemas de distribución. La medición electrónica es más robusta y precisa bajo tales condiciones.

Los medidores electrónicos de energía han superado en funcionamiento a los medidores electromecánicos en términos de funcionalidad y utilidad, pero los costos y confiabilidad han sido cuestionados en diferentes partes del mundo.

Compañías como Analog Devices que tienen una excelente reputación en el suministro de circuitos integrados tanto para las industrias militar y aeroespacial como para productos de consumo de alto volumen están muy bien posicionadas para unir la alta confiabilidad con el bajo costo que el sector ha estado esperando. Analog Devices, Inc. reconoce las limitaciones de costos de los medidores monofásicos de energía y ha identificado una oportunidad para ayudar a que fabricantes de medidores alcancen sus metas de costos, alivien sus preocupaciones por la confiabilidad y logren sus requisitos de cantidades. El sector de los servicios públicos ha estado fascinado con las historias de lectura automática de medidores (amr), prepago con tarjetas inteligentes (smart card), y facturación con multitarifa, pero la medición per se también sigue como prioridad en las mentes progresistas de los generadores y distribuidores de energía. La inversión en manufactura, la precisión y calidad de la medición, y la cantidad de información ofrecida por la medición electrónica es indudablemente superior a la del diseño tradicional de medidor de disco.

## 2.3 PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES DSP 56F801<sup>5</sup>

El procesamiento digital de señales se refiere al procesamiento electrónico de señales tales como sonido, radio y microondas usando técnicas matemáticas para realizar transformaciones o extraer información. En la práctica, las características que hacen a los DSP's tan buenos en el manejo de señales los hacen adecuados para muchos otros propósitos, tales como procesamiento de gráficos de alta calidad y simulaciones en ingeniería.

Este proceso deberá ser realizado en TIEMPO REAL, lo cuál es muy rápido. Por ejemplo: los equipos de estéreo manejan señales de sonido arriba de los 20 khz (20.000 ciclos por segundo), necesitando así que el DSP realice miles de millones de operaciones por segundo.

**2.3.1 Características.** Según las especificaciones suministradas por el fabricante este circuito ofrece como principales características:

- Eficiente DSP de la familia DSP56800 con la arquitectura dual de Harvard.
- Arriba de 40MIPS (Millones de instrucciones por segundo) a frecuencia de 80MHz.
- Dos acumuladores de 36 bits.
- Sistema de instrucción paralelo con modos de dirección únicos de DSP.
- Hardware DO y REP loops.
- Tres buses de dirección internos y un bus de dirección externo.
- Cuatro buses de datos internos y uno externo.
- Soporte de lenguaje C.
- Interface JTAG/OnCE.

Una de las más importantes características de un DSP es su capacidad de realizar operaciones de multiplicación y acumulación (MACs) en sólo un ciclo de reloj. No obstante ello, es necesario que el dispositivo posea la característica de manejar aplicaciones críticas en tiempo real. Esto requiere de una arquitectura que soporte un flujo de datos a alta velocidad hacia y desde la unidad de cálculo y memoria. Esta ejecución a menudo requiere el uso de unidades DMA (Direct Memory Access) y generadores de direcciones duales (DAG's) que operan en paralelo con otras partes del chip. Los DAG's realizan los cálculos de direcciones, permitiendo al DSP buscar dos datos distintos para operar con ellos en un solo ciclo de reloj, de tal forma que es posible ejecutar algoritmos complejos en tiempo real.

---

<sup>5</sup> Monografías.com, Procesamiento digital de señales.

Es importante para DSP's tener un mecanismo efectivo de salto para la ejecución de loops ya que el código generalmente programado es altamente repetitivo. La arquitectura permite realizar estos loops sin instrucciones adicionales ni demoras, las que al ejecutarse millones de veces empiezan a generar retardos significativos.

Los DSP's deben manejar rangos dinámicos extendidos y de precisión para evitar overflow y underflow y para minimizar los errores de redondeo. Para acomodarse a esta capacidad, los DSP's incluyen acumuladores dedicados con registros más anchos que el tamaño nominal de los datos para así conservar la precisión (por ejemplo, DSP's de 16 bits poseen acumuladores de 32 bits para manejar el resultado de las multiplicaciones). También deben soportar el manejo de buffers circulares para la ejecución de funciones algorítmicas, tales como filtros. En estos tipos de buffers el puntero del buffer se actualiza en paralelo con otras funciones del chip en cada ciclo de reloj. En cada ciclo el buffer circular realiza una comprobación de "fin de buffer" para verificar si es necesario volver al inicio de éste sin demorar así la ejecución del algoritmo a causa de la ejecución de instrucciones adicionales de comparación y salto.

Por otro lado, los microcontroladores se utilizan sobre todo en aplicaciones donde existen acontecimientos externos los que requieren de la detección y el control. El ambiente externo es detectado por cualquiera de los dispositivos periféricos; puertos digitales I/O, pines dedicados de interrupción, o las entradas análogas (de analógico a digital). La fuente de las señales a estos pines viene de los interruptores, sensores análogos y/o digitales, y de las señales de estado de otros sistemas. Cada entrada representa un pedazo de información sobre el estado de un cierto acontecimiento exterior. Las salidas se envían a actuadores, relés, motores o a otros dispositivos que controlen acontecimientos. Entre la detección y actuación está el microcontrolador, analizando las entradas y el estado actual del sistema, determinando cuándo y qué encender y/o apagar. El software es el que hace todo esto, toma las decisiones, generalmente trabaja de una manera condicional; es decir, realiza saltos sólo bajo ciertas condiciones y realiza manipulaciones a nivel de bits. Las interrupciones son consideradas como condiciones externas que alteran el flujo principal del programa.

**2.3.2 Arquitecturas Estándar en DSP's**<sup>6</sup>. Las arquitecturas de los computadores actuales están comúnmente clasificadas como RISC's (*Reduced Instruction Set Computers*) y CISC's (*Complex Instruction Set Computers*). Estos últimos tienen un gran número de instrucciones sumamente poderosas, mientras que la arquitectura RISC posee pocas instrucciones y realiza movimientos de datos entre registros en un ciclo de máquina. Hoy en día los computadores RISC comienzan a reemplazar a los CISC's, porque se puede alcanzar un más alto rendimiento por medio del uso de un eficiente compilador como a través de la ejecución de instrucciones simples en forma ordenada.

Los DSP's estándar tienen muchos rasgos de una arquitectura tipo RISC, pero ellos son procesadores de propósitos específicos cuya arquitectura es especialmente diseñada para operar en ambientes de alta necesidad de cálculo. Un DSP estándar ejecuta varias operaciones en paralelo mientras que un RISC usa unidades funcionales altamente eficientes que pueden iniciar y completar una instrucción simple en uno o dos ciclos de reloj.

Los DSP's típicos son caracterizados generalmente por las siguientes cualidades en su arquitectura:

1. Una unidad funcional rápida que puede multiplicar y acumular en un ciclo de instrucción. Un ciclo de instrucción puede durar generalmente 1 ó 2 ciclos de reloj. Disponibles en DSP's de punto fijo y flotante.
2. Varias unidades funcionales que realizan operaciones en paralelo, incluyendo accesos a memoria y cálculo de direcciones. Las unidades poseen típicamente una unidad principal (ALU) junto con dos o más unidades de generación de direcciones. Estas unidades funcionales poseen su propio conjunto de registros y muchas instrucciones se realizan en un solo ciclo de instrucción.
3. Varias unidades de memoria on-chip (generalmente 2 ó 3) usadas para almacenar instrucciones, datos o tablas. Cada unidad de memoria puede ser acezada una vez en cada ciclo de instrucción.

---

<sup>6</sup> Introducción a los Dsp's, laboratorio de procesamiento digital de señales, Rodrigo Huerta Cortes, Alejandro Herrera, Universidad técnica Federico Santa María, Pg. 6.

4. Varios buses para incrementar las tasas de transferencia hacia y desde memoria y evitar conflictos de direcciones.
5. Soporte para tipos especiales de direccionamiento, especialmente modulo y bit– reverse, requerido en el cálculo de la FFT. Direccionamiento módulo es muy eficiente para la implementación de buffers circulares.
6. Soporte para manejo de loop con bajo costo en tiempo y manejo rápido de interrupciones, especialmente aquellas que se deben a los puertos seriales.

**2.3.3 Características y cualidades en los DSP's mas comunes<sup>7</sup>.** Una unidad funcional rápida que puede multiplicar y acumular en un ciclo de instrucción. Un ciclo de instrucción puede durar generalmente 1 ó 2 ciclos de reloj. Disponibles en DSP's de punto fijo y flotante.

Varias unidades funcionales que realizan operaciones en paralelo, incluyendo accesos a memoria y cálculo de direcciones. Las unidades poseen típicamente una unidad principal (ALU) junto con dos o más unidades de generación de direcciones.

Estas unidades funcionales poseen su propio conjunto de registros y muchas instrucciones se realizan en un solo ciclo de instrucción.

Varias unidades de memoria on–chip (generalmente 2 ó 3) usadas para almacenar instrucciones, datos o tablas. Cada unidad de memoria puede ser accedida una vez en cada ciclo de instrucción.

Varios buses para incrementar las tasas de transferencia hacia y desde memoria y evitar conflictos de direcciones.

Soporte para tipos especiales de direccionamiento, especialmente modulo y bit–reverse, requerido en el cálculo de la FFT. El direccionamiento módulo es muy eficiente para la implementación de buffers circulares.

Soporte para manejo de loop con bajo costo en tiempo y manejo rápido de interrupciones, especialmente aquellas que se deben a los puertos seriales.

---

<sup>7</sup> Monografías.com, Procesamiento digital de señales.

**2.3.4 Diferencias entre Microcontroladores y DSP's<sup>8</sup>.** Una de las diferencias más importante encontrada entre un DSP y un Microcontrolador es la estructura de memoria que poseen. En un microcontrolador es posible encontrar una memoria lineal, en la que se almacenan tanto datos como instrucciones de programa. Esto obliga a generar programas que no sobrepasen límites de tamaño ya que podrían sobrescribirse datos por instrucciones o viceversa. Un DSP posee dos bloques separados e independientes de memoria, cada uno con su propio bus de acceso, permitiendo así al procesador ir a buscar la siguiente instrucción y dato en el mismo ciclo de reloj (Fetch). En la figura siguiente se muestra un diagrama de los tipos de memorias y su conexión con el núcleo operaciones.

Otra diferencia importante entre un Microcontrolador y un DSP (y aún entre DSP's) es la cantidad de unidades de ejecución que poseen, las cuales son capaces de realizar operaciones en paralelo. Por ejemplo, además de la típica ALU, un DSP posee bloques MAC de multiplicación y acumulación, se encuentran también bloques sólo para corrimientos, shifters. En la figura siguiente se observa un diagrama de bloques de un microcontrolador PIC12C5XX, el cual sólo posee una unidad aritmética para todo tipo de cálculo, desde cálculo de direcciones de salto, búsqueda de datos hasta operaciones lógicas.

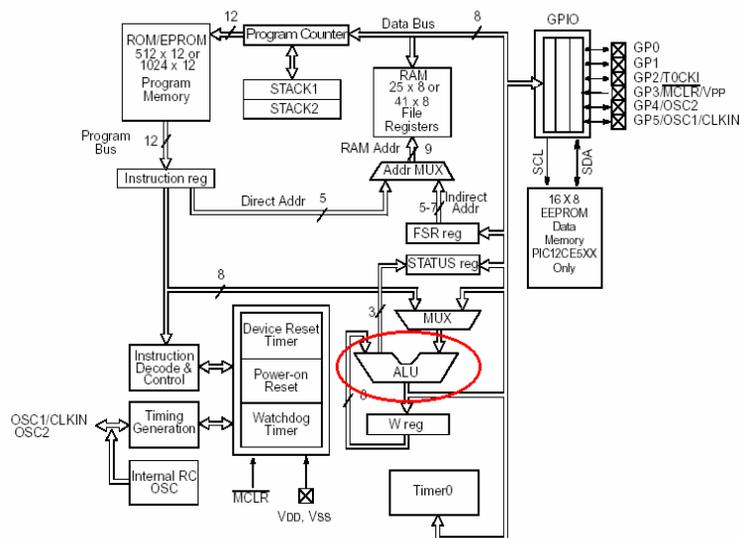


Figura 11. Diagrama de bloques de la arquitectura del PIC-12C5XX.

<sup>8</sup> Introducción a los Dsp's, laboratorio de procesamiento digital de señales, Rodrigo Huerta Cortes, Alejandro Herrera, Universidad técnica Federico Santa María, Pg. 8.

La siguiente figura muestra parte de un diagrama de bloques del DSP TMS320F241. En ella se pueden ver 3 unidades de cálculo, CALU, ARAU, y una unidad de multiplicación la cual permite además realizar corrimientos:

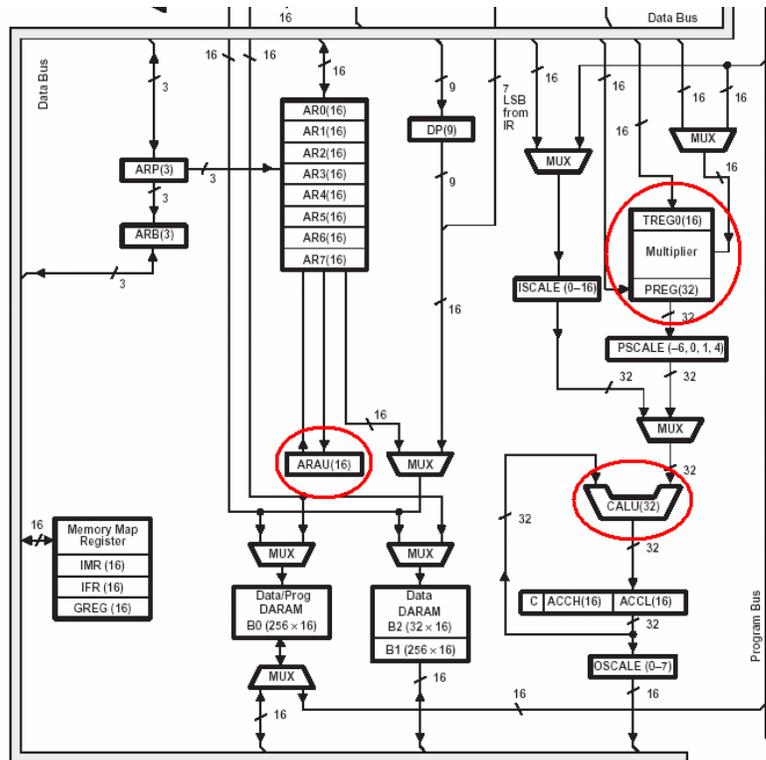


Figura 12. Diagrama de bloques del DSP TMS320F241.

La unidad CALU realiza las operaciones aritmético – lógicas, mientras que la unidad ARAU permite realizar cálculos sobre registros auxiliares para direccionamientos indirectos tanto a memoria de datos como de programa. Finalmente la unidad de multiplicación y suma permite una rápida ejecución de operaciones iterativas tales como algoritmos de filtros.

Cabe destacar que en la actualidad cada vez se empieza a desarrollar más la tecnología mezclada entre microprocesadores y DSP's. Diversas son las razones para que se produzca esta integración, sin embargo a groso modo es posible identificar una en particular. Los requerimientos de control en tiempo real bajo condiciones cada vez más exigentes en cuanto a necesidad de cálculo han llevado a los fabricantes de microcontroladores (microchip, ST, etc.) a integrar a sus microprocesadores características de DSP (unidades de cálculo paralelas, pipeling, etc.) y por el otro lado los fabricantes de DSP's (Texas, Motorola, Analog Device, etc.) empiezan a utilizar las características de Microcontroladores (Conversores A/D, puertos digitales I/O, bloques PWM) integrándolas dentro del DSP.

### 2.3.5 Ventajas y Desventajas de los DSP's

- La Tecnología VLSI (*Very Large Scale Integration*) da la posibilidad de diseñar sistemas con la capacidad para ejecutar procesamiento en tiempo real de muchas de las señales de interés para aplicaciones en comunicaciones, control, procesamiento de imagen, multimedia, etc.
- Los sistemas digitales son más confiables que los correspondientes sistemas análogos.
- Los sistemas digitales ofrecen una mayor flexibilidad que los correspondientes sistemas análogos.
- Mayor precisión y mayor exactitud pueden ser obtenidas con sistemas digitales, comparado con los correspondientes sistemas análogos.
- Un sistema programable permite flexibilidad en la reconfiguración de aplicaciones **DSP**.
- La tolerancia de los componentes en un sistema análogo hacen que esto sea una dificultad para el diseñador al controlar la exactitud de la señal de salida análoga. Por otro lado, la exactitud de la señal de salida para un sistema digital es predecible y controlable por el tipo de aritmética usada y el número de bits usado en los cálculos.
- Las señales digitales pueden ser almacenadas en un disco flexible, Disco Duro o CD-ROM, sin la pérdida de fidelidad más allá que el introducido por el conversor Análogo Digital (ADC). Éste no es el caso para las señales análogas.

A pesar de ellas existen algunos inconvenientes que deberán ser tomados en cuenta al momento de escoger una plataforma para el procesamiento de señales analógicas por medio digitales:

- La conversión de una señal analógica en digital, obtenida muestreando la señal y cuantificando las muestras, produce una distorsión que nos impide la reconstrucción de la señal analógica original a partir de muestras cuantificadas.
- Existen efectos debidos a la precisión finita que deben ser considerados en el procesado digital de las muestras cuantificadas.
- Para muchas señales de gran ancho de banda, se requiere procesado en tiempo real. Para tales señales, el procesado analógico, o incluso óptico, son las únicas soluciones válidas. Sin embargo, cuando los circuitos digitales existen y son de suficiente velocidad se hacen preferibles.

## 2.4 CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El término "*calidad de energía eléctrica*" se emplea para describir la variación de la tensión, corriente, y frecuencia en el sistema eléctrico. Históricamente, la mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias de estos tres parámetros. Sin embargo, en los últimos diez años se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos, no tan tolerantes a estas variaciones, incluyendo a los controlados electrónicamente.

La combinación de estos factores desemboca en la evaluación de múltiples índices y subgrupos que sirven para evaluar y clasificar la "calidad de energía eléctrica" que se entrega por parte de las compañías distribuidoras de electricidad a sus clientes o consumidores.

**2.4.1 Definiciones.** Para efectos de la comprensión del documento se aplicaran las definiciones expresadas a continuación:

**Calidad de la Potencia Eléctrica (CPE).** Conjunto de calificadores de fenómenos inherentes a la forma de onda de la tensión, que permiten juzgar el valor de las desviaciones de la tensión instantánea con respecto a su forma y frecuencia estándar, así como el efecto que dichas desviaciones pueden tener sobre los equipos eléctricos u otros sistemas.

**Carga o Capacidad Instalada.** Es la carga instalada o capacidad nominal que puede soportar el componente limitante de una instalación o sistema eléctrico.

**Equipo de Medida.** En relación con un punto de conexión lo conforman todos los transformadores de medida, medidores y el cableado necesario para ese punto de conexión.

**Eventos No Programados.** Son aquellos que ocurren súbitamente y causan un efecto operacional en el Sistema del OR y pueden o no causar efectos en la operación del SIN.

**Eventos Programados.** Son aquellos eventos planeados por el OR que causan un efecto operacional en el Sistema del OR y pueden o no causar efectos en la operación del SIN.

**Fluctuación de tensión.** Fenómeno que origina distorsión transitoria de la forma de onda de tensión, respecto de su forma estándar. Se dice que existe una discontinuidad del servicio cuando la tensión no sigue la forma de onda estándar.

**Forma y Frecuencia estándar.** Forma en el tiempo de una onda senoidal pura de amplitud constante, igual a la tensión nominal, y a una frecuencia de 60 Hz.

**Hundimiento (Sag).** Fluctuación de tensión caracterizada por producir una depresión transitoria de tensión respecto de la onda estándar, en un punto del SIN.

**Indicador.** Cifra que establece el nivel o la evolución de una cantidad que refleja el estado de un sistema.

**Medidor.** Es el aparato que mide la demanda máxima y los consumos de energía activa o reactiva o las dos. La medida de energía puede ser realizada en función del tiempo y puede o no incluir dispositivos de transmisión de datos.

**Niveles de Tensión.** Los sistemas de Transmisión Regional y/o Distribución Local se clasifican por niveles, en función de la tensión nominal de operación, según la siguiente definición:

Nivel IV: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 62 kV

Nivel III: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 30 kV y menor de 62 kV

Nivel II: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV

Nivel I: Sistemas con tensión nominal menor a 1 kV

**Operador de Red de STR's y/o SDL's (OR).** Es la persona encargada de la planeación de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un STR o SDL; los activos pueden ser de su propiedad o de terceros. Para todos los propósitos son las empresas que tienen Cargos por Uso de los STR's y/o SDL's aprobados por la CREG. El OR siempre debe ser una Empresa de Servicios Públicos.

**Parpadeo (Flicker).** Impresión de inestabilidad de la sensación visual causada por un estímulo luminoso, cuya luminosidad o distribución espectral fluctúa en el tiempo.

**Pico (Swell).** Fluctuación de tensión caracterizada por producir un aumento transitorio de tensión respecto de la onda estándar, en un punto del SIN.

**P<sub>ST</sub> (Percibility Short Time).** Es un indicador de la perceptibilidad de un equipo o sistema, ante fluctuaciones de tensión durante un período de tiempo corto (10 minutos), obtenido de forma estadística a partir del tratamiento de la señal de tensión. La forma de calcularlo se define en el Estándar IEC-61000-4-15 (2003-02).

**Punto de Medición.** Es el punto de conexión eléctrico del circuito primario del transformador de corriente que está asociado al punto de conexión, o los bornes del medidor, en el caso del nivel de tensión I.

**Sistema de Distribución Local (SDL).** Sistema de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes de distribución municipales o distritales; conformado por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV que no pertenecen a un sistema de transmisión regional por estar dedicadas al servicio de un sistema de distribución municipal, distrital o local.

**Sistema Interconectado Nacional (SIN).** Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión nacional, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los Usuarios.

**Sistema de Transmisión Nacional (STN).** Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.

**Sistema de Transmisión Regional (STR)** Sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes regionales o interregionales de transmisión; Conformado por el conjunto de líneas y subestaciones con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV y que no pertenecen a un sistema de distribución local.

**THDV (Total Harmonic Distortion of Voltage).** Es un indicador de la Distorsión Armónica Total del Voltaje, respecto de la onda estándar. Expresada en porcentaje. La forma de calcularlo se define en el Estándar IEEE 519 [1992].

**2.4.2 Indicadores de Calidad.** Los siguientes indicadores miden la calidad de la potencia suministrada:

**Frecuencia y Tensión:** La frecuencia nominal del SIN es 60 Hz y su rango de variación de operación está entre 59.8 y 60.2 Hz en condiciones normales de operación. El OR y los Usuarios deben tener en cuenta que en estados de emergencia, fallas, déficit energético y períodos de restablecimiento, la frecuencia puede oscilar entre 57.5 y 63.0 Hz por un período de tiempo de quince (15) segundos.

**Contenido de Armónicos de las Ondas de Tensión y Corriente:** Son el contenido de ondas con frecuencias que son múltiplos de la frecuencia normal de suministro (60 Hz) y son el resultado de cargas no lineales en el STR y/o SDL. Tanto el OR como los Usuarios conectados a su red deberán cumplir con la norma IEEE 519 - [1992] o la que la modifique o sustituya.

**“Flicker”:** Mide las variaciones de tensión causadas fundamentalmente por cargas tales como hornos de arco, acerías y otros equipos de gran consumo, que usualmente se traducen en la distorsión de la onda de tensión. El OR deberá garantizar que sus Usuarios cumplan con la norma IEEE-519 [1992] o la que la modifique o sustituya.

**Factor de Potencia:** El factor de potencia mínimo permisible es el establecido en el Artículo 25 de la Resolución CREG 108 de 1997 o posteriores que la modifiquen o sustituyan.

**Transitorios Electromagnéticos Rápidos y Fluctuaciones de Tensión:** Es todo fenómeno que origine distorsiones transitorias de las ondas de tensión y corriente respecto a su forma y frecuencia permisibles.

Cuando se detecten fenómenos electromagnéticos que perjudiquen a Usuarios conectados a un STR y/o SDL, el OR conjuntamente con el Usuario afectado deberán buscar la causa del fenómeno y solucionarlo en un plazo no mayor a treinta (30) días hábiles. Cuando el problema causado por un Usuario sea grave e involucre a varios Usuarios, el OR deberá desconectarlo inmediatamente se identifique que el problema está en sus instalaciones.

La norma IEEE-1159 [1995] fija las pautas para el análisis de este tipo de fenómenos.

### **2.4.3 Calidad del Servicio Prestado.** Clasificación de las interrupciones del servicio de energía.

#### ❖ De acuerdo con la Duración de la Interrupción:

- ✓ Instantáneas: Son aquellas suspensiones del servicio cuya duración es inferior o igual a un (1) minuto.
- ✓ Transitorias: Son aquellas suspensiones del servicio cuya duración es superior a un (1) minuto y menor o igual a cinco (5) minutos.
- ✓ Temporales: Son aquellas suspensiones del servicio de energía cuya duración es mayor a cinco (5) minutos.

Para el cálculo de los indicadores que se definen más adelante no se tendrán en cuenta:

- ✓ Interrupciones Instantáneas.
- ✓ Interrupciones por racionamiento de emergencia o programadas del sistema eléctrico nacional debidas a insuficiencia en la generación nacional o por otros Eventos en Generación y en el STN, siempre y cuando así hayan sido definidas por el CND.
- ✓ Interrupciones por seguridad ciudadana y solicitadas por organismos de socorro o autoridades competentes.
- ✓ Suspensiones o cortes del servicio por incumplimiento del contrato de servicios públicos.

#### ❖ De acuerdo con el Origen:

- ✓ No Programadas: Son aquellas interrupciones que obedecen a Eventos No Programados.
- ✓ Programadas: Son aquellas interrupciones que obedecen a Eventos Programados.

Para el cálculo de los indicadores que se definen más adelante se tendrán en cuenta las Interrupciones aquí enunciadas.

**2.4.4 Importancia de la Calidad de Energía<sup>9</sup>.** El suministro de energía eléctrica es uno de los principales servicios en las sociedades modernas para el soporte de la vida cotidiana.

- ✓ Los consumidores de electricidad poco a poco han tomado conciencia de la necesidad de contar con un servicio de alto nivel en términos de calidad en la tensión proporcionada por las compañías suministradores, conocido como calidad de la energía.
- ✓ La calidad del servicio de suministro de energía eléctrica soporta y apunala la vitalidad comercial, industrial y social de los países.
- ✓ Por ejemplo las compañías suministradoras del oeste de Europa son reconocidas internacionalmente como las mejores en el mundo en términos del desempeño, confiabilidad y efectividad costo beneficio.

#### **2.4.5 Problemas de la Calidad de Energía.**

- ✓ **Eventos transitorios:** Las fuentes que causan este tipo de eventos son: Rayos, tormentas eléctricas, la explosión de un transformador de distribución en poste. Sus características principales son: aumento repentino de la tensión (voltaje) llegando a niveles insospechados (orden de varios miles de amperios, o incluso cientos de miles de amperios en el caso de rayos). Este tipo de fenómeno también son fuentes de señales eléctricas con múltiples frecuencias (armónicas) que duran instantes (orden de los microsegundos). Pueden causar funcionamiento errático del equipo electrónico, o incluso daños severos.
- ✓ **Distorsiones armónicas, Interarmónicas y Subarmónicas:** Consiste en la deformación de la forma normal de onda, debido a cargas no lineales, tales como las fuentes switching de las computadoras, variadores de frecuencia para control de motores eléctricos (elevadores), fotocopiadoras, impresoras láser y equipos de facsímile (fax). Puede causar errores de comunicación, sobrecalentamiento y daño de equipos electrónicos.

---

<sup>9</sup> Perspectiva de calidad de la energía eléctrica y su importancia en México, Rodrigo Jiménez, Jorge Cerero, Normalización ANCE – Investigación y Desarrollo EMC. Pagina Web Cenam, [www.cenam.mx](http://www.cenam.mx)

- ✓ **Corte de Energía:** Consiste en un corte total de energía, que provoca que se caiga por completo todo el sistema eléctrico. Suelen ocurrir cuando se presente alguna de las siguientes circunstancias: tormenta Eléctrica, desconexión de las líneas eléctricas, aumento desproporcionado de demanda eléctrica en el edificio, desastres naturales, ó accidentes.
  
- ✓ **Deformación de Potencia (Sag):** Son reducciones momentáneas del voltaje. Su duración va desde  $\frac{1}{2}$  ciclo hasta varios segundos. Las distorsiones que duran menos de  $\frac{1}{2}$  ciclo se llaman “transitorios de baja frecuencia”, y las que duran mas de eso, se llaman “subvoltajes”. Las fuentes de este tipo de problemas son: grandes incrementos de la corriente, arranque de cargas eléctricas muy grandes (motores eléctricos industriales con picos de arranque del 150% o mas), por cableado eléctrico defectuoso (falsos contactos en bornes de conexión), o por cortes repentinos de energía o cortocircuitos en la red eléctrica publica o la red eléctrica interna del edificio.
  
- ✓ **Pico de voltaje (Swell):** Son aumentos repentinos del voltaje por encima de 110% del voltaje nominal. Su duración va desde  $\frac{1}{2}$  ciclo hasta varios segundos. Las distorsiones que duran menos de  $\frac{1}{2}$  ciclo se llaman “transitorios de baja frecuencia”, y las que duran mas de eso, se llaman “sobre voltajes”. Las fuentes de este tipo de problemas son: descargas atmosféricas que caen cerca o sobre el edificio o directamente sobre la línea de transmisión de energía, entre otros, y causan pérdidas de datos y daños severos en los equipos electrónicos.
  
- ✓ **Subvoltaje:** Es un tipo de transitorio que ocurre en muy cortos periodos de tiempo, o también en régimen permanente, cuando ocurren en forma sostenida durante periodos de tiempo considerables (varios segundos hasta varios días). Consiste en un nivel de voltaje inferior al voltaje nominal. Son ocasionados intencionalmente como un medio de reducir el consumo eléctrico en el edificio, debido a una sobrecarga eléctrica del sistema. Por ejemplo, un subvoltaje ocurre en un edificio durante las llamadas “horas pico” que es cuando la mayoría de los aparatos eléctricos del edificio están operando, y por el exceso de consumo energético, el voltaje de las líneas eléctricas tiende a bajar conforme aumenta el consumo de energía. Esto ocurre particularmente en edificios viejos, o que originalmente fueron construidos para vivienda, y luego fueron ocupados por oficinas, elevando así significativamente el consumo eléctrico. Causa funcionamiento errático o malfuncionamiento de equipos eléctricos y electrónicos.

- ✓ **Sobretensión:** Toda instalación eléctrica esta diseñada o concebida para operar con 10% mas de su valor nominal, lo cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$V_{L-N_{PICO}} = 1.1 \left( \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{2} \quad [V_{PICO}]$$

Las posibles causas de generación de sobre voltajes se enumeran a continuación:

1. Descargas atmosféricas (rayos).
  2. De maniobras “switchero” permanentes o continuas en el sistema de operación del sistema de energía al abrir y cerrar interruptores grandes, conectar o desconectar líneas de transmisión de energía.
  3. Un corto circuito entre las líneas de fase y tierra ocasiona un sobre voltaje en las fases sanas del 173%.
- ✓ **Ruido de línea:** Consiste en formas de onda de frecuencias diversas causadas por interferencia de radio frecuencia (RFI) en interferencia Electromagnética (EMI). Es causada por la cercanía del edificio de lugares en donde están operando transmisores de radio, maquinas de soldar eléctricas, dispositivos industriales que operen a base de SCR, o por la ocurrencia de tormentas eléctricas. Pueden causar perdidas de datos, daños de equipos o disminución de vida útil de equipos eléctricos y electrónicos.
  - ✓ **Variación de frecuencia:** Consiste de cambios en la estabilidad de la frecuencia fundamental (frecuencia nominal 60Hz). Ocurren con frecuencia en donde el fluido eléctrico es suplido por generadores eléctricos pequeños o portátiles, o en donde existan sistemas de cogeneración eléctrica, o por fallas en los transformadores de distribución en la red eléctrica pública. Suelen causar funcionamiento errático, perdida de datos, daños severos en los equipos, o la caída del sistema eléctrico.

## 2.5 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN

Las herramientas de programación, son aquellas que permiten realizar aplicaciones, programas y/o rutinas para que la parte física del computador, funcione y pueda producir resultados.

Hoy en día existen múltiples herramientas de programación en el mercado, tanto para expertos como para principiantes.

Las herramientas de programación más comunes del mercado, cuentan con programas de depuración o debugger, esto permite detectar los posibles errores en tiempo de ejecución de rutinas y programas.

**2.5.1 Codewarrior.** El Codewarrior es un entorno integrado de desarrollo (IDE) muy poderoso, que reúne un compilador, un linker y un debugger de código ensamblador fuente, y puede ser ampliada según las necesidades del usuario. Las versiones 5.0 y 5.1 ofrecen ensamblado de código fuente en forma ilimitada (assembler) y proveen capacidades de debugging muy interesantes aun para programadores adelantados.

Esta herramienta poderosa, combina un ambiente desarrollado de alta performance (IDE) con:

- Simulación completa del chip y programación de la memoria flash.
- Un compilador ANSI C, generación automática de código C con "Processor Expert", que permite una muy fácil inicialización de los distintos periféricos del MCU elegido.

En sí, Metrowerks Codewarrior es una interfaz estándar tipo windows que posee menús, barras de herramientas que ayudan a construir, revisar (debug) y testear aplicaciones en tiempo real. Por esta razón se utilizará para la programación del DSP.

**2.5.2 Matlab.** Matlab es un programa de gran aceptación en ingeniería destinado realizar cálculos técnicos científicos y de propósito general. En él se integran operaciones de cálculo, visualización y programación, donde la interacción con el usuario emplea una notación matemática clásica.

Los usos y aplicaciones típicos de Matlab son:

- Matemáticas y cálculo.
- Desarrollo de algoritmos.
- Adquisición de datos.
- Modelado, simulación y prototipado.
- Análisis y procesado de datos.
- Gráficos científicos y de ingeniería.
- Desarrollo de aplicaciones.

De ahí el interés de realizar la interfaz de usuario bajo este ambiente de simulación.

**2.5.3 Lenguaje de Programación.** Un lenguaje de programación permite al usuario crear programas que serán entendidos por el ordenador (directa o indirectamente) con el objetivo de realizar alguna tarea. A grandes rasgos podemos clasificar los lenguajes de programación en tres categorías: máquina, bajo nivel (ensamblador) y alto nivel. Se procederá solo a explicar el lenguaje de alto nivel, Lenguaje C++, ya que será este el utilizado en la programación bajo Codewarrior y Matlab, para la programación del DSP y de la programación de la interfaz de usuario respectivamente.

- **Lenguajes de alto nivel:** son aquellos en los que las instrucciones o sentencias son escritas con palabras similares a las de los lenguajes humanos (en la mayoría de los casos, el inglés). Esto facilita la escritura y comprensión del código al programador. Cada instrucción en un lenguaje de alto nivel se corresponde con varias en lenguaje ensamblador. Un ejemplo de lenguaje de alto nivel es el **C++**. Los programas escritos en lenguaje de alto nivel no son entendibles directamente por la máquina. Necesitan ser traducidos a instrucciones en lenguaje máquina que entiendan los ordenadores. Los programas que realizan esta traducción se llaman compiladores, y los programas escritos en lenguajes de alto nivel se denominan programas fuente.

Un programa puede ser definido como un conjunto de instrucciones que pueden someterse como unidad a un ordenador y utilizarse para dirigir el comportamiento de éste.

Cuando se escribe un programa en un determinado lenguaje de programación, el ordenador por si mismo no es capaz de ejecutarlo, pues las instrucciones que aparecen en el programa no son reconocidas por la CPU. Esta sólo reconoce las instrucciones pertenecientes a su código

máquina. Es necesario utilizar otro programa que traduzca los programas en C++ (u otro lenguaje) al conjunto de operaciones en código máquina que entienda y ejecute el ordenador. Esta es la labor del compilador. El compilador es específico de cada lenguaje, es decir, un compilador de C++ no es capaz de compilar un programa escrito en Pascal, ni viceversa.

Durante el proceso de compilación se parte de un fichero escrito en el lenguaje de programación elegido (al que llamaremos fichero fuente) y lo transformaremos hasta obtener el fichero que contenga las instrucciones en código máquina (al que llamaremos fichero ejecutable).

El proceso de compilación consta de dos partes sucesivas (recogidas en la siguiente figura), aunque muy habitualmente se conozca como compilación al conjunto de ambas etapas:

- **Compilación.** Es la compilación propiamente dicha. En esta etapa cada instrucción en lenguaje de programación del fichero fuente es traducida a su correspondiente instrucción o instrucciones en código máquina. El producto de esta etapa es lo que se conoce con el nombre de **fichero objeto**. Este fichero es casi un programa ejecutable, salvo por un detalle. Si, durante este proceso de traducción, se encuentra alguna invocación a algún subprograma incorporado por el lenguaje (por ejemplo las funciones y procedimientos de lectura o escritura, o las funciones matemáticas) el compilador no la traduce, dejando un hueco en el fichero objeto. Este hueco será rellenado en el siguiente paso con las instrucciones en código máquina de los subprogramas no traducidos.

- **Enlazado** (link) realizado por el enlazador (linker). Es en esta etapa donde se rellenan los huecos dejados en la etapa de compilación. El producto de este paso es el **programa ejecutable**.

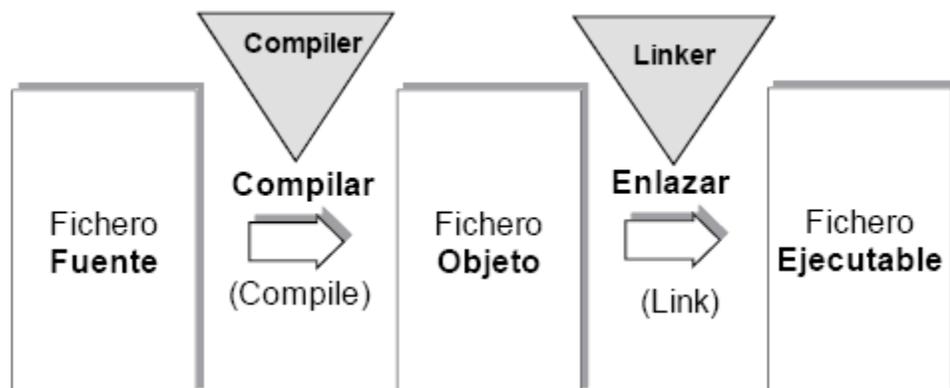


Figura 13. Proceso de Compilación.

### 3. ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO

#### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Teniendo en cuenta la disposición del diagrama de bloques para representar gráficamente el funcionamiento interno de un sistema, se utilizará como base para la descripción general del prototipo analizador de calidad de potencia eléctrica.

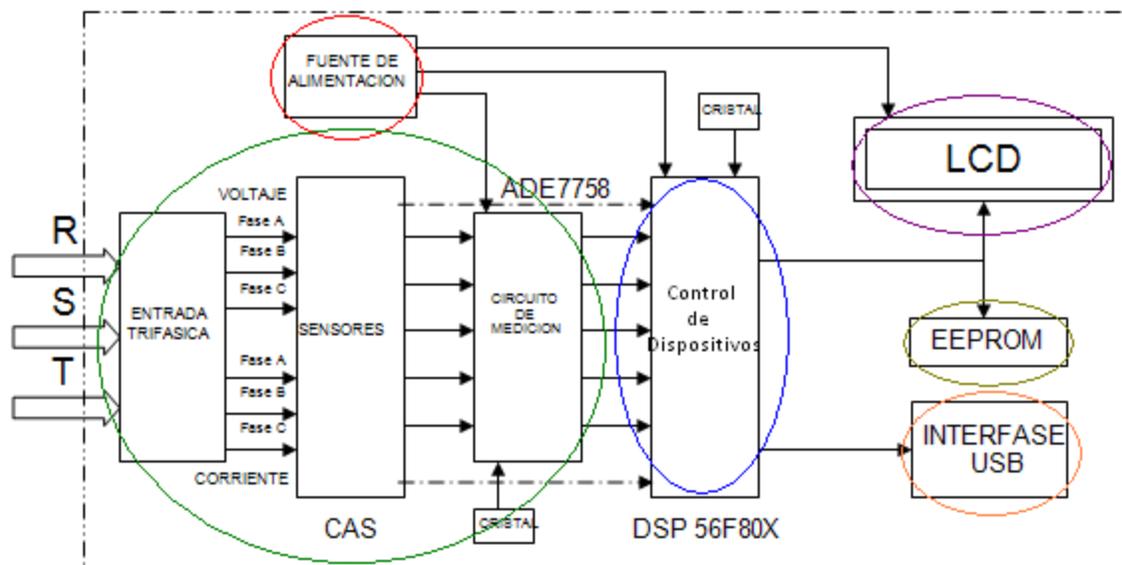


Figura 14. Diagrama de Bloques del Prototipo Analizador de Calidad de Potencia Eléctrica.

#### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES

Como se puede observar, el diagrama está dividido por varios bloques; sin embargo el prototipo hace referencia a 6 etapas de trabajo aquí mencionadas:

**3.2.1 Fuente de Alimentación.** La fuente de alimentación se abastece directamente de la red eléctrica y esta a su vez, distribuye la energía en dos niveles diferentes de tensión (circuito primario y circuito secundario). Estas dos tensiones se asignan en el prototipo con valores de cinco (5) y tres (3) voltios, según requerimientos de cada circuito.

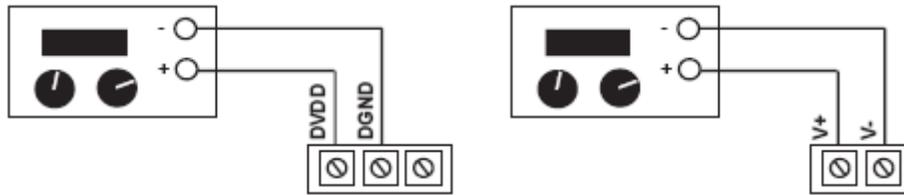


Figura 15. Fuente de Alimentación.

**3.2.2 Adaptación Señal Trifásica.** Para tomar y acondicionar las señales de Voltaje y Corriente del prototipo analizador de calidad de potencia eléctrica se propuso algunas cargas, tales como bombillas y motores trifásicos.

La señal de corriente se acoplo al prototipo con transformadores de corriente, mientras que las señales de voltaje fueron sensadas directamente de la red eléctrica.

Además de los transformadores de corriente utilizados para el acondicionamiento de las señales, se dispuso de unos circuitos resistivos y capacitivos que fijan los valores tanto de corriente como de voltaje que requiere el analizador para el procesamiento de estas señales censadas. Los circuitos RC corresponden a filtros de antialiasing. Ver figura a continuación.

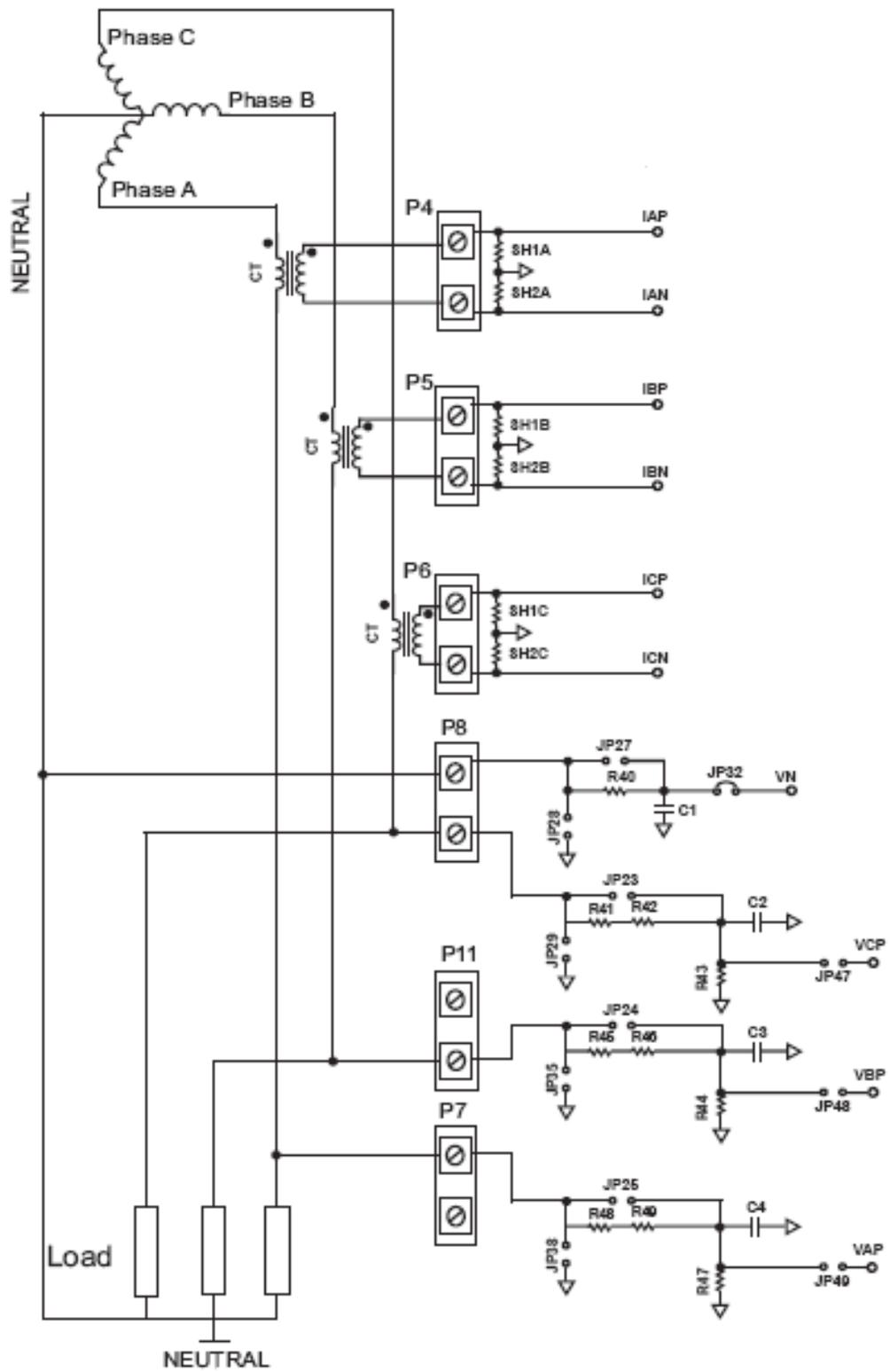


Figura 16. Adaptación señal trifásica.

Se puede decir que el ADE 7758 es el circuito más importante para el propósito de medición de parámetros de potencia eléctrica. Internamente, este posee todas las características necesarias para el procesamiento de las señales; cuenta con registros para escritura tales como Voltaje y Corriente RMS de cada fase y demás registros de parámetros requeridos y también cuenta con previos registros de lectura que son finalmente los que nos proporcionan la información que será desplegada.

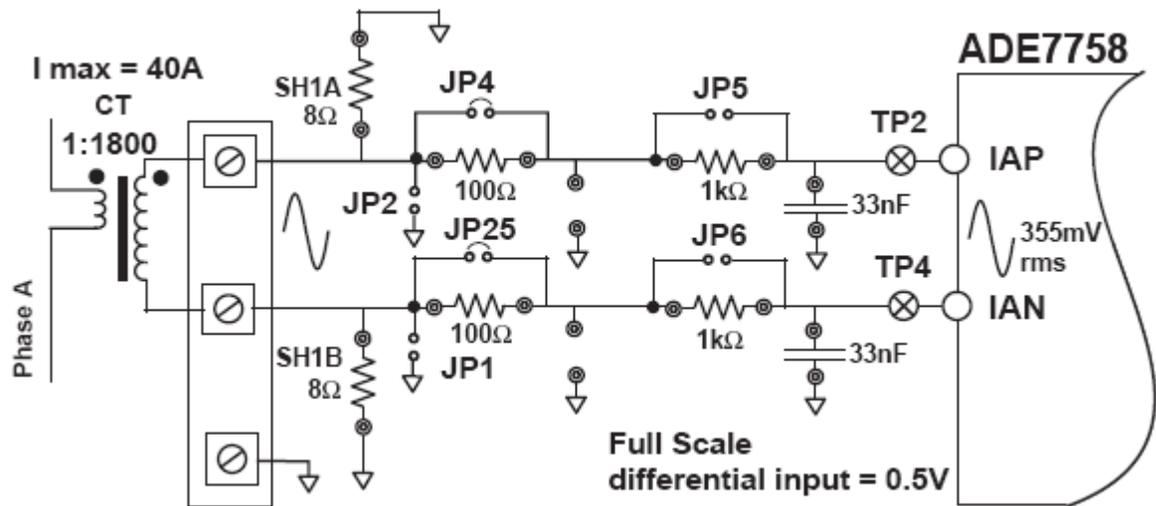


Figura 17. Conexión Canal de Corriente.

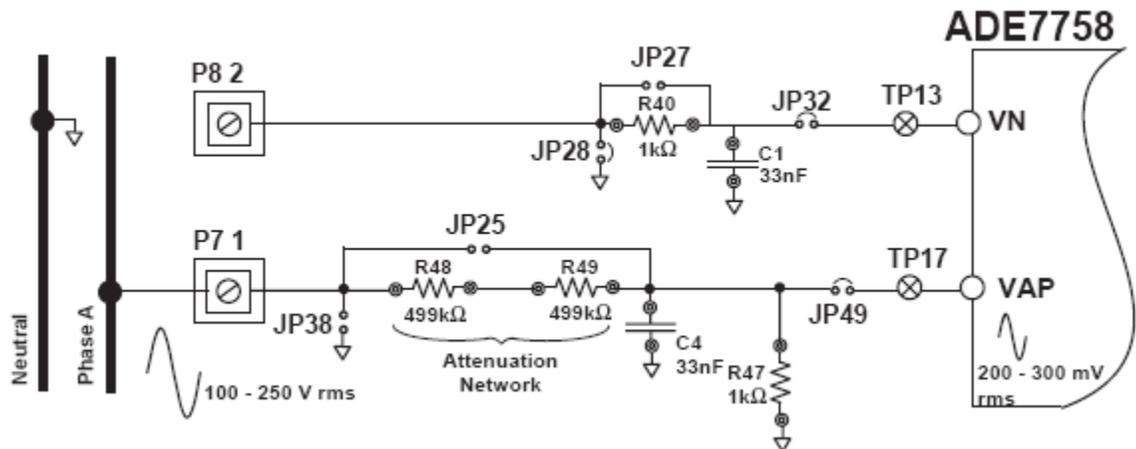


Figura 18. Conexión Canal de Voltaje.

**3.2.3 Control de Dispositivos.** El DSP es la pieza principal para la programación y control de todos los dispositivos que comprenden la tarjeta del prototipo analizador de calidad de potencia eléctrica.

La etapa de control será la encargada de realizar tareas tales como:

1. Comunicación y control del ADE7758.
2. Adecuación de Datos para ser legibles en LCD
3. Control de Display
4. Manejo de Pulsadores para las funciones que sean necesarias
5. Comunicación Serial con el Mundo exterior
6. Almacenamiento en una memoria no volátil los parámetros de Calibración.
7. Gestionar calibración del ADE7758
8. Almacenar en una memoria no volátil, las interrupciones producidas en la red.

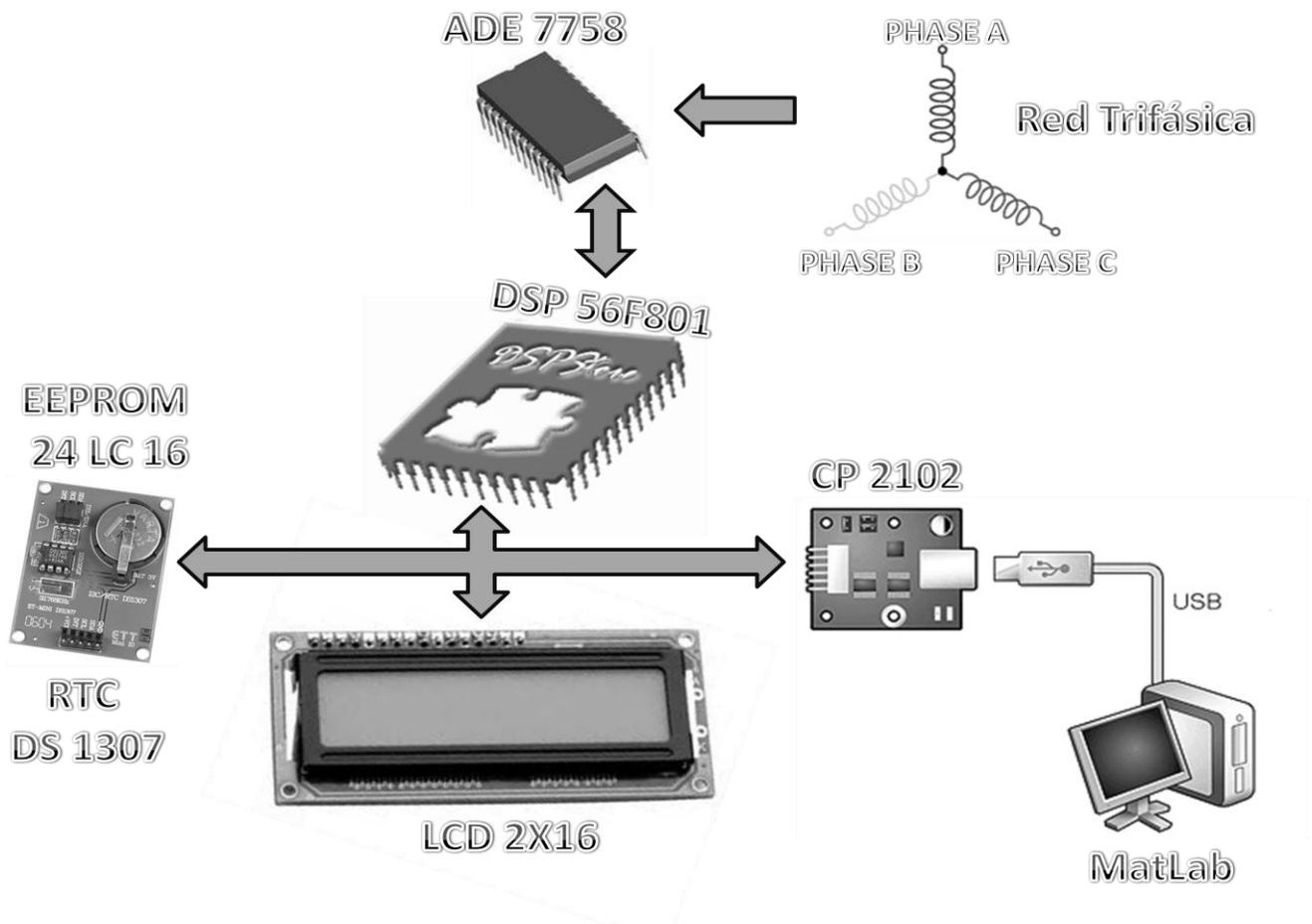


Figura 19. Control de Dispositivos.

**3.2.4 Despliegue de la Información.** La pantalla de cristal líquido o LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo controlado de visualización gráfica para la presentación de caracteres, símbolos o incluso dibujos (en algunos modelos), en este caso dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz de 5x7 puntos (píxeles), aunque los hay de otro número de filas y caracteres. Este dispositivo está gobernado internamente por un microcontrolador Hitachi 44780 y regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el más comúnmente usado y esta información se basará en el manejo de este u otro LCD compatible.

El display de cristal líquido (LCD) que integra la tarjeta prototipo analizador de calidad de potencia eléctrica, presenta los parámetros de calidad para cada fase respectivamente. Estos se disponen por página que serán vistas desplazándolas por medio de pulsadores ubicados junto al display (LCD).

**3.2.5 Almacenamiento de Datos.** Por otro lado, la información procesada es recopilada de la tarjeta, por medio de puente USB; también existe una memoria EEPROM que guarda los registros previos de sensado de energía. Y un reloj de tiempo real exacto, el cual automáticamente, mantiene el tiempo y la fecha actual, incluyendo compensación para meses con menos de 31 días y saltos de año.

La EEPROM *Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*, es una memoria de solo lectura programable y borrable de forma eléctrica, lo que significa que una vez que se le quita la corriente eléctrica mantiene la información de forma indefinida y además puede reprogramarse borrando su contenido de forma eléctrica. Esto es una ventaja frente a las memorias EPROM que se deben borrar con luz ultravioleta. De igual manera pasa con el RTC que se le puede conectar al pin3, una batería de respaldo de 3 volt, asegurando que se mantendrá el tiempo a la fecha aunque esté desconectada la fuente de tensión del circuito principal.

El circuito integrado automáticamente detecta que se ha removido la energía en el circuito principal y se conectan las baterías de respaldo cuando es requerido. La batería de respaldo puede durar hasta 10 años y se coloca en la misma base de circuito impreso, tal como se muestra en la tarjeta de desarrollo ACPE.

**3.2.6 Interfaz de Usuario.** Para analizar claramente el comportamiento de la energía eléctrica medida, se recurrió a un software que proporciona la información por medio de los registros del ADE 7758. En la implementación del proyecto, se verá como Matlab asiste esta tarea.

### 3.3 VARIABLES MONITOREADAS

A continuación se listan las variables a ser medidas por el prototipo ACPE<sup>10</sup>, que a su vez han sido tomadas de la CREG<sup>11</sup> como requisitos mínimos.

**3.3.1 Voltaje y Corriente RMS.** Las tensiones en estado estacionario a 60 Hz y sus variaciones permisibles, son las establecidas en la norma NTC 1340, así:

- a. **Extra alta tensión (EAT):** Corresponde a tensiones superiores a 230 KV.
- b. **Alta tensión (AT):** Corresponde a tensiones mayores o iguales a 57,5 KV y menores o iguales a 230 KV.
- c. **Media tensión (MT):** Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 KV.
- d. **Baja tensión (BT):** Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.
- e. **Muy baja tensión (MBT):** Tensiones menores de 25 V.

Nota: El prototipo esta condicionado para mediciones de baja tensión.

**3.3.2 Frecuencia.** La frecuencia nominal del SIN es 60 Hz y su rango de variación de operación está entre 59.8 y 60.2 Hz en condiciones normales de operación.

**3.3.3 Potencia Activa, Reactiva y Aparente.** Para el cálculo de potencia activa, reactiva y aparente así como para las variables mencionadas anteriormente el circuito Integrado ADE 7758 cuenta con una serie de registros, por cada fase, para su almacenamiento y manejo. Su ubicación, programación y acceso, serán explicados en detalle mas adelante, en la etapa de implementación.

---

<sup>10</sup> Analizador de Calidad de Potencia Eléctrica

<sup>11</sup> Comisión de regulación de energía y gas

**3.3.4 Indicador THDV.** Es un indicador de la Distorsión Armónica<sup>12</sup> Total del Voltaje, respecto de la onda estándar, expresada en porcentaje. La forma de calcularlo se define en el Estándar IEEE 519 [1992]. A continuación se presenta una tabla con los porcentajes permitidos.

<b>Tensión del Sistema</b>	<b>THDV Máximo (%)</b>
<b>Niveles de tensión 1,2 y 3</b>	<b>5.0</b>
<b>Nivel de Tensión 4</b>	<b>2.5</b>
<b>STN</b>	<b>1.5</b>

Tabla 1. Porcentaje THDV.

Nota: El prototipo esta condicionado para niveles de tensión 1.

**3.3.5 Indicador Pst.** Es un indicador de la perceptibilidad de un equipo o sistema, ante fluctuaciones de tensión durante un período de tiempo corto (10 minutos), obtenido de forma estadística a partir del tratamiento de la señal de tensión. La forma de calcularlo se define en el Estándar IEC-61000-4-15 (2003-02).

**3.3.5.1 Continuidad del Servicio.** Se entiende por continuidad del servicio (frecuencia y duración de interrupciones superiores a 1 minuto).

**3.3.5.2 Desviación estacionaria de tensión RMS.** Fenómeno que origina distorsión transitoria de la forma de onda de tensión, respecto de su forma estándar. Se dice que existe una discontinuidad del servicio cuando la tensión no sigue la forma de onda estándar. De aquí se desprenden dos fenómenos muy importantes que son tenidos en cuenta por el prototipo. Como los son: Hundimiento (Sag) y Pico (Swell), definidos anteriormente.

<sup>12</sup> Son el contenido de ondas con frecuencias que son múltiplos de la frecuencia normal de suministro (60 Hz) y son el resultado de cargas no lineales en el STR y/o SDL.

### 3.4 CONDICIONES DE TRABAJO Y ESPECIFICACIONES DE MEDIDAS

- ✓ **Temperatura.** El prototipo ACPE esta en condiciones de trabajar normalmente dentro de un rango de temperaturas de:  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ **Mediciones de voltaje AC.** El dispositivo tiene la capacidad de medir de  $120V_{\text{RMS}}$  hasta  $220 V_{\text{RMS}}$ . En un rango de frecuencias de  $60\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ .
- ✓ **Mediciones de corriente AC.** Al prototipo pueden ser conectadas cargas que requieran de hasta 8A como corriente máxima.
- ✓ **Mediciones de Frecuencia.** En las medidas de frecuencia que se adquieren para las fases de la red eléctrica publica, se tiene un rango de 60Hz en condiciones normales.

## 4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

### 4.1 HARDWARE

Contrario al orden normal para realizar un proyecto, se dispuso como etapa inicial el diseño completo de la tarjeta (Hardware) del prototipo de calidad potencia eléctrica.

Este prototipo cuenta con 7 módulos, 5 de ellos controlados por el DSP 56F801:

#### 4.1.1 Modulo fuente de alimentación.

Ya mencionado anteriormente este modulo cuenta con 2 fuentes de alimentación que tomada su energía de la red eléctrica abastecen a toda la tarjeta con 3 y 5 voltios de esta manera:

<b>3 Voltios</b>	<b>5 Voltios</b>
Pulsadores	LCD
DSP 56F801	EEPROM 24LC16
CP 2102	DS 1307
Compuertas AND	ADE 7758

Tabla 2. Voltajes de Alimentación.

Para el diseño de las fuentes se requirió de 4 elementos básicos: transformador, puente de diodos, condensadores, reguladores de 3 y 5 voltios (LM1117 y LM7805).

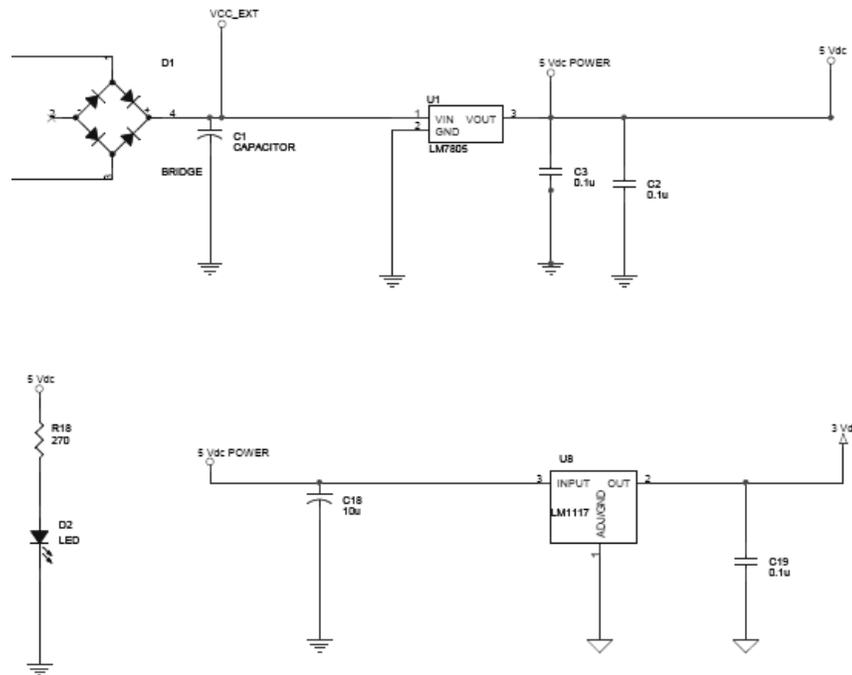


Figura 20. Fuente de Alimentación.

#### 4.1.2 Modulo acondicionamiento señal trifásica.

El acondicionamiento de la señal se hace por medio de transformadores de corriente y circuitos RC. Para el diseño de la tarjeta, inicialmente se tomo el circuito de evaluación del ADE 7758. Ver figura a continuación.

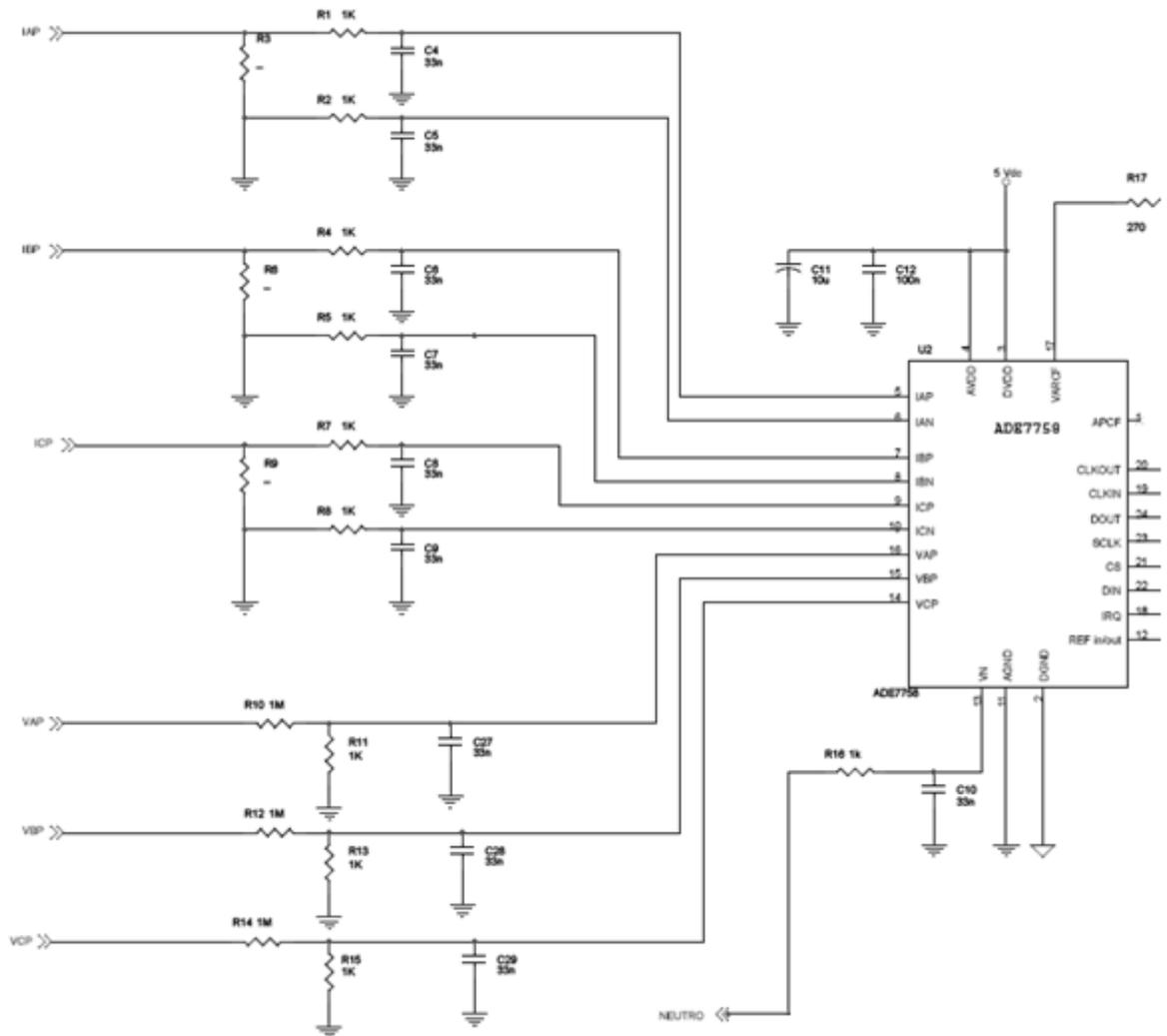
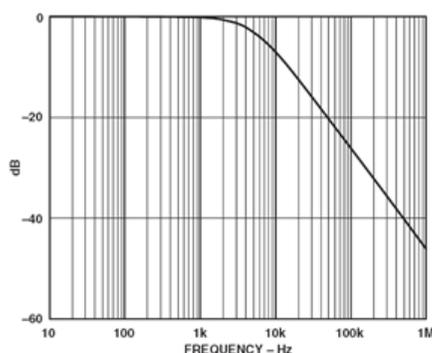


Figura 21. Acondicionamiento señal trifásica.

**4.1.2.1 Medición de Tensión.**<sup>13</sup> Para esta medición se debe hacer un arreglo de los filtros descritos anteriormente como entrada de la señal trifásica de voltaje, para la disminución del voltaje de entrada, ya que este es muy elevado, y podría dañar el integrado de medida.

**4.1.2.1.1 Etapa de Atenuación y Acondicionamiento de Tensión.** En el Datasheet del ADE7758 se indica que el canal de voltaje, al igual que el de corriente, posee un rango de entrada de conversión lineal desde -500mV hasta 500mV, en una entrada diferencial respecto del neutro común y con protección a descargas electrostáticas (ESD protection). Esta entrada de conversión de voltaje soporta hasta 6V de manera prolongada sin producirse daño alguno, por lo que haciendo una división sencilla se obtiene que el ADE7758 sea capaz de soportar sobretensiones doce veces mayores que la tensión nominal. Esta holgura entre el nivel de tensión correspondiente al mayor valor de conversión y el nivel máximo de voltaje que soporta la entrada de conversión permite diseñar una red atenuadora basada en resistencias y elementos de protección, sin necesidad de aislar eléctricamente con un transformador de tensión que pudiese presentar desventajas importantes como: incremento considerable del costo e introducción de un error de desfase entre la corriente y la tensión.

En el mismo Datasheet de Analog Devices se propone precisamente una red atenuadora y de acondicionamiento de señales basada solo en elementos pasivos como resistencias y condensadores, los valores de los elementos se deben a su función de filtro de primer orden antialiasing cuya respuesta en frecuencia se muestra a continuación, ofreciendo una atenuación cercana a -40db a 833Khz siendo ésta la frecuencia de muestreo del conversor analógico-digital en la entrada del ADE7758.



**Figura 22. Respuesta en Frecuencia de filtro RC.**

<sup>13</sup> Mientras de mayor calidad y rango dinámico sean los componentes de esta etapa, más exacto y preciso será el prototipo. Para efectos de este proyecto y minimización de costos, se utilizaron resistencias de tolerancias de 5% como máximo, siendo éstas las mas fáciles de encontrar.

Además de este filtro RC, a la entrada del conversor se encuentra un filtro pasa bajo integrado dentro del ADE7758 para el canal de tensión que limita el ancho de banda a solo 260Hz. Eso significa que por más esfuerzos que se hagan para una entrada de armónicos<sup>14</sup> de alta frecuencia, el ADE7758 propiamente limita el ancho de banda hasta el 4to armónico en los canales de tensión.

La mayor protección de los circuitos digitales a las fluctuaciones<sup>15</sup> de la línea conectadas eléctricamente al ADE7758 se encuentra en el conversor ADC del integrado, que posee separadas eléctricamente la circuitería de conversión analógica de la circuitería de comunicación y procesamiento digital; por esta razón el chip presenta dos entradas de alimentación y dos tierras, aislando al resto de los circuitos digitales de control y comunicaciones, de la línea.

Por tanto se utilizó el divisor de tensión descrito en la data del ADE7758. Que consta de una resistencia de 1MΩ en serie con una resistencia de 1KΩ y condensador de 33nF.

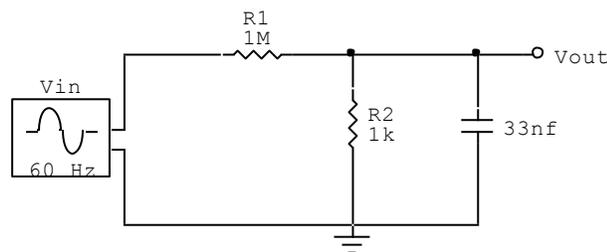


Figura 23. Divisor de Tensión.

Ahora bien, según la formula matemática del divisor de tensión se hallará el  $V_{in}$  (Max).

$$V_{out} = \frac{V_{in(max)} * R2}{R1 + R2}$$

$$R1 = 1M\Omega$$

$$R2 = 1K\Omega$$

$$V_{out} = 0.5 \text{ V por tanto despejando de la formula } V_{in} (\text{Max}) = 500 \text{ V}$$

<sup>14</sup> En sistemas eléctricos la palabra Armónicos se utiliza para designar corrientes o tensiones de frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de la alimentación.

<sup>15</sup> Se dice que hay fluctuaciones de tensión cuando se producen variaciones periódicas o series de cambios aleatorios en la tensión de la red eléctrica.

Pero en la práctica no se encontró ese tipo de voltaje de entrada; así que se realizaron pruebas para verificar la respuesta del divisor a partir de los voltajes de fase del laboratorio de maquinas eléctricas. Cuyo voltaje máximo fue 123 Vrms.

Vin (V)	Vout (mV)
19.8	19.73
39.6	39.46
60.5	60.2
80.5	80.2
99.6	99.2
120.2	119.7
123.9	123.44

Tabla 3. Pruebas Divisor de Tensión.

**4.1.2.2 Medición de Corriente.** Para adquirir las señales de corriente en las líneas de la red eléctrica pública, se utilizan transformadores de corriente, escogidos teniendo en cuenta el rango que se va a medir, la exactitud requerida en la medición, y las características de linealidad y saturación. Adicionalmente se tiene en cuenta el precio de la implementación de los dispositivos, ya que se debe considerar que algunos transductores requieren otros elementos para realizar el sensado de la variable, los cuales pueden llegar a elevar considerablemente el valor final de la solución.

El transformador de corriente usa el principio de convertir corriente primaria en este caso de 10A<sup>16</sup> en corriente secundaria más pequeña 10mA<sup>17</sup>. Es utilizado para realizar mediciones de corrientes de diferentes rangos y presenta bajo consumo de potencia.



Figura 24. Transformador de Corriente.

<sup>16</sup> Corriente primaria máxima según especificaciones transformador de corriente AC1010

<sup>17</sup> Corriente secundaria máxima según especificaciones transformador de corriente AC1010

**4.1.2.2.1 Etapa de Atenuación y Acondicionamiento de Corriente.** Se establece como rango nominal del prototipo de 0 a 8 Ampere aunque se vea limitado por la capacidad de corriente de los conductores y uniones utilizadas para el canal de corriente (en caso de hacer una medición directa).

Los canales de corriente tienen las mismas características que los canales de tensión en cuanto a los conversores analógicos digitales. Las diferencias se presentan en el hecho de poseer tres entradas diferenciales sin tener un neutro “común” entre las tres fases, las mismas son puramente bipolares. Al igual que los canales de tensión, requieren de un filtro antialiasing de primer orden conformado por un condensador de 33uf y una resistencia de 1K.

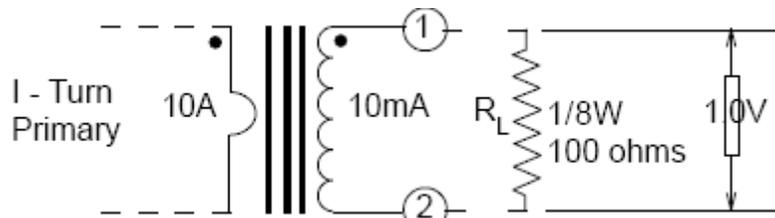


Figura 25. Medición de Corriente.

Para la medición de corriente se establece una resistencia de 100Ω, recomendada de la data del Transformador ya que con esta resistencia la salida de voltaje es mas lineal. Donde la relación de transformación es de 0.100 V/A. A continuación se observa su comportamiento.

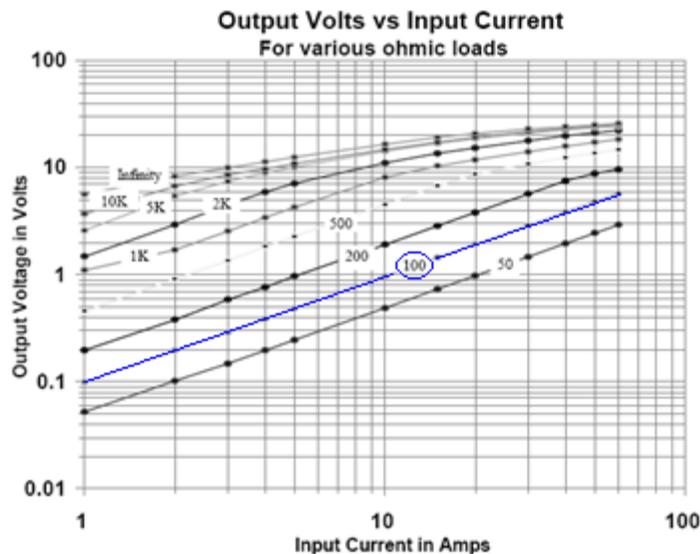


Figura 26. Relación Voltaje salida vs Corriente de Entrada.

A continuación se muestra la tabla obtenida de las pruebas en el laboratorio de maquinas para verificar la linealidad del transformador AC1010 con diferentes cargas.

<b><i>I</i> Primario (A)</b>	<b><i>I</i> Secundario (mA)</b>	<b><i>V</i>out (mV)</b>
1.03	1.01	101
2.06	2.03	203
3.02	3	300
4.12	4.09	409
5.07	5.05	505
6.08	6.05	605
7.09	7.11	711
8.02	7.99	799

Tabla 4. Pruebas Transformador de Corriente.

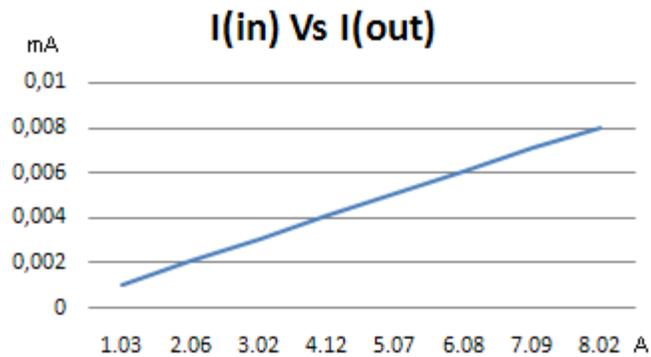


Figura 27. Relación Corriente Entrada vs Corriente de Salida.

### 4.1.3 Modulo ADE 7758.

Los periféricos del ADE van conectados a dos módulos de la tarjeta: al módulo del acondicionamiento de la señal y al módulo del DSP para la programación del dispositivo.

Los periféricos están conectados como se muestra en la siguiente figura:

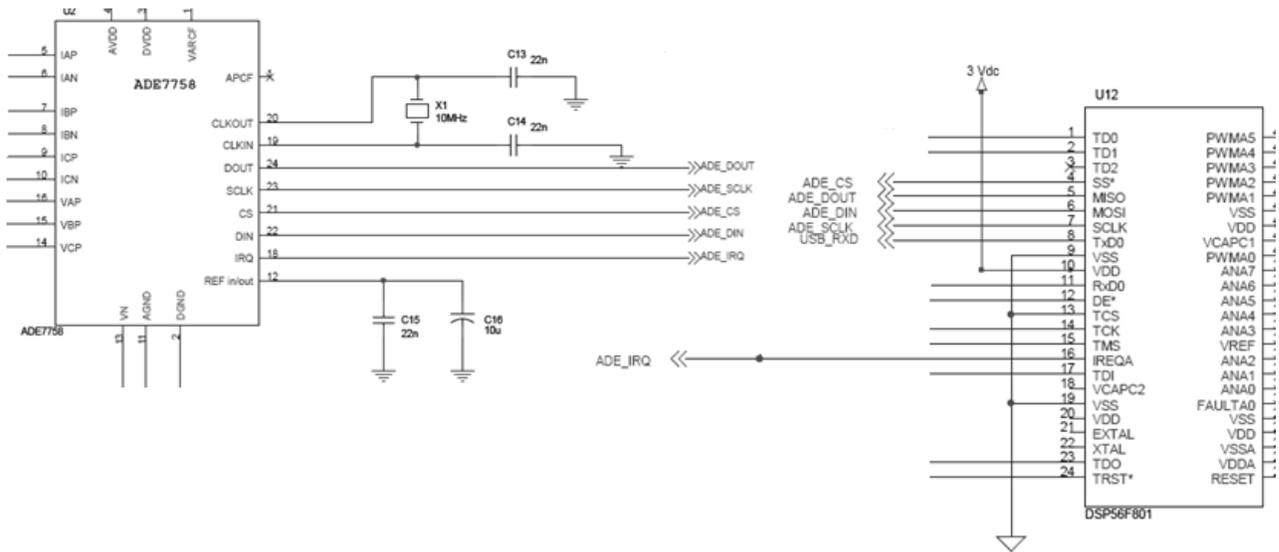


Figura 28. Conexión ADE-DSP.

Esto es:

ADE 7758	DEFINICION	DSP 56F801	DEFINICION
<b>CS (IN)</b>	Chip selector	<b>SS (OUT)</b>	SPI Slave selector
<b>D_OUT (OUT)</b>	Salida de Datos de la interface Serial	<b>MISO (IN)</b>	SPI Master in / Slave out
<b>D_IN (IN)</b>	Entrada de Datos de la Interface Serial	<b>MOSI (OUT)</b>	SPI Master out / Salve in
<b>SCLK (IN)</b>	Señal de Reloj	<b>SCLK (OUT)</b>	SPI Serial Clock
<b>IRQ (OUT)</b>	Interrupción Externa	<b>IREQA (IN)</b>	Interrupción Externa

Tabla 5. Conexión ADE-DSP.

#### 4.1.4 Modulo DSP 56F801.

Para disponer del DSP en el prototipo se tomo como base el diagrama esquemático de la tarjeta CSM-56F801. En esta tarjeta se pueden observar las conexiones para el reset del sistema y las conexiones que del JTAG<sup>18</sup> (Joint Test Action Group) van al DSP.

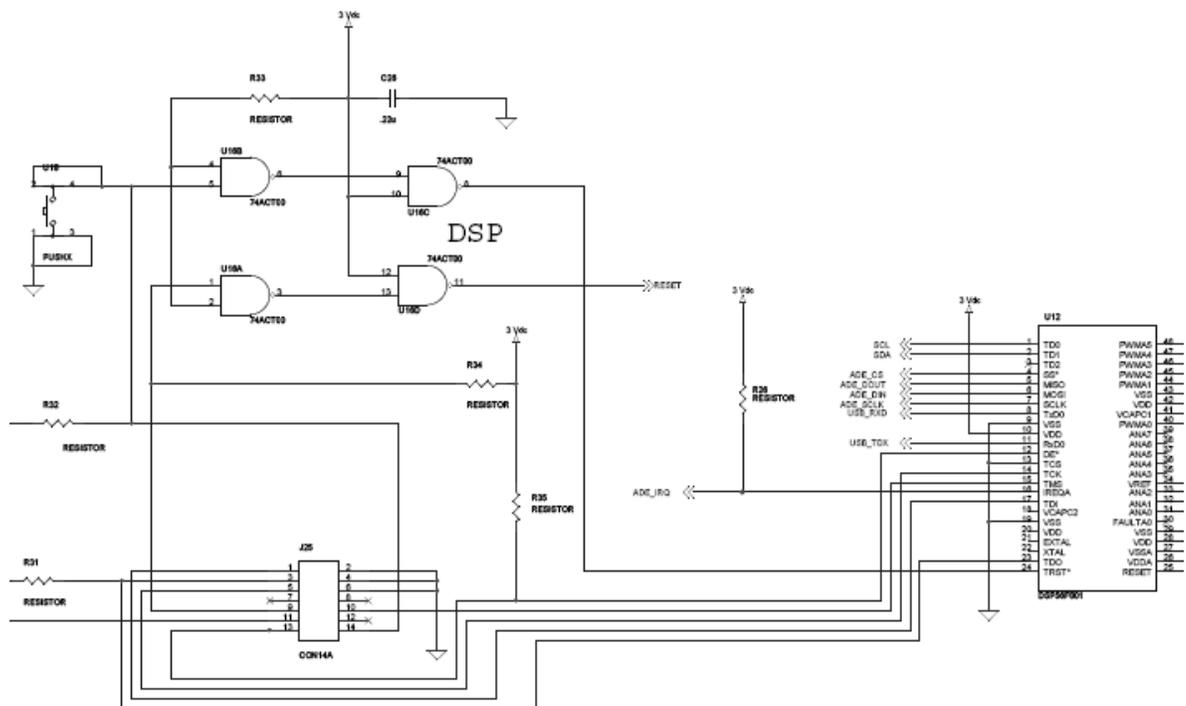


Figura 29. Conexión JTAG-DSP.

<sup>18</sup> Se utiliza como dispositivo de depuración del software del DSP

### 4.1.5 Modulo LCD.

Claramente se dispone del lcd en el prototipo para el despliegue de datos de los parámetros medidos.

La conexión con el modulo DSP es la siguiente:

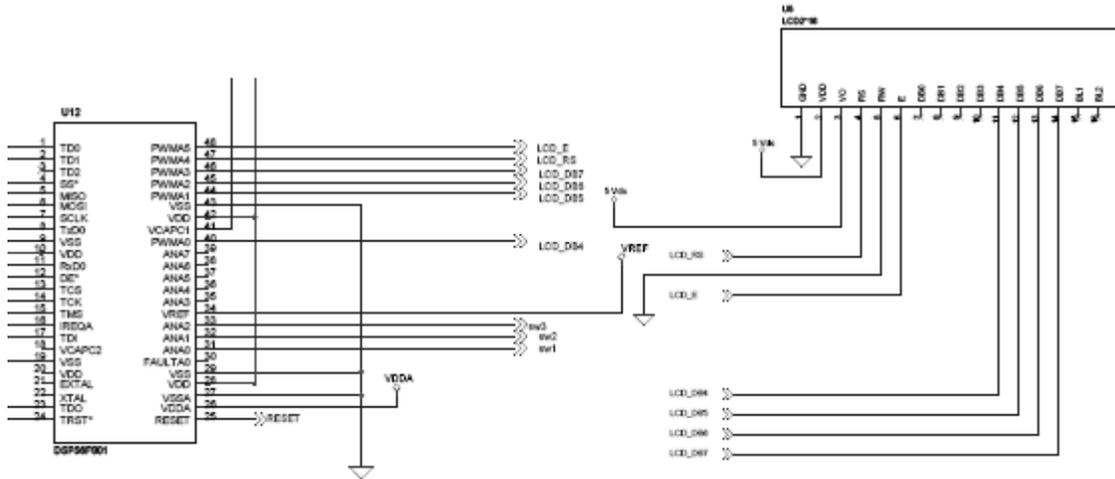


Figura 30. Conexión LCD-DSP.

LCD	DEF.	DSP56F801	DEF.
E (IN)	Habilitador	PWMA5 (OUT)	Se utilizan como pin de propósito general.
RS (IN)	Sel. de registros: Control - Datos	PWMA4 (OUT)	
DB7 (IN)	Bit de Datos MSB	PWMA3 (OUT)	
DB6 (IN)	Bit de Datos	PWMA2 (OUT)	
DB5 (IN)	Bit de Datos	PWMA1 (OUT)	
DB4 (IN)	Bit de Datos	PWMA0 (OUT)	

Tabla 6. Conexión LCD-DSP.

#### 4.1.6 Modulo RTC-EEPROM.

Para reducir el número de conductores en el Diseño final se prefieren componentes de comunicación serial ya que no existen compromisos de velocidad. Es necesario contar con una memoria no volátil para guardar los parámetros de calibración, forma de onda y además de un reloj de tiempo real para registrar la hora en que ocurran los eventos a registrar. Debido a sus antecedentes de uso, códigos conseguidos en Internet y el suministro a nivel nacional, se eligieron las memorias 24LC16 y el Reloj DS1307 ambos de Dallas Semiconductor.

Conexiones con el DSP:

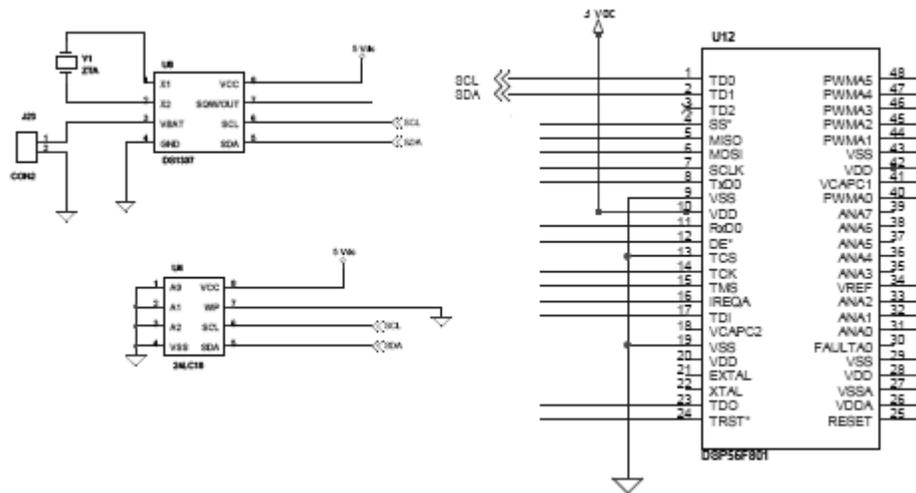


Figura 31. Conexión RTC-EEPROM-DSP.

RTC	DEF.	EEPROM	DEF.	DSP56F801	DEF.
SCL (IN)	Entrada serial de reloj	SCL (IN)	Entrada Serial de reloj	TD0 (OUT)	Pin de propósito general
SDA (IN/OUT)	Entrada y Salida de datos de la Interface Serial	SDA (IN/OUT)	Pin bidireccional para el direccionamiento de registros y para entrada y salida de datos	TD1 (IN/OUT)	Pin de propósito general

Tabla 7. Conexión RTC-EEPROM-DSP.

#### 4.1.7 Modulo puente USB.

Se pretendió disponer de un método abreviado con USB para la comunicación del prototipo con el PC. Este método es la adecuación del dispositivo CP 2102 al sistema que sintetiza todo el protocolo USB, es decir para enviar y recibir datos es similar a proceso que realiza MAX232; del CP2102 recibimos como en el MAX232 y enviamos de igual manera. El CP2102 es un puente de USB (Universal Serial Bus) a UART (Universal Asynchronous Receiver - Transmitter)<sup>19</sup>, que proporciona una simple solución para adaptar el diseño de RS232 a USB usando un mínimo de componentes y poco espacio en el circuito impreso.

Conexión con el modulo DSP:

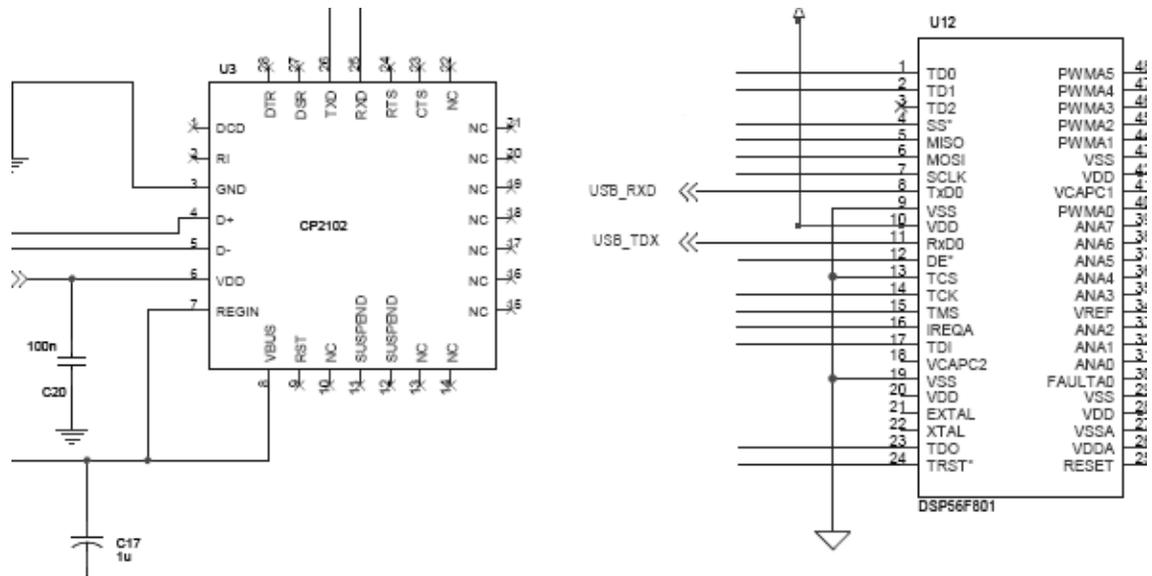


Figura 32. Conexión CP2102-DSP.

PUENTE USB	DEF.	DSP51F801	DEF.
TDX (OUT)	Transmisión de datos	RXD0 (IN)	Recepción de Datos
RDX (IN)	Recepción de Datos	TXD0 (OUT)	Transmisión de Datos

Tabla 8. Conexión USB.

<sup>19</sup> Una UART (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, en inglés Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) es un circuito integrado que utilizan ciertos sistemas digitales basados en microprocesador, para convertir los datos en paralelo, que manda la UCP (Unidad Central de Proceso), en serie, con el fin de comunicarse con otro sistema externo. También realiza el proceso contrario, esto es, convierte los datos serie, recibidos de un sistema externo, en paralelo para ser procesados por la UCP.

#### 4.1.8 Implementación.

Dando como resultado final la unificación de todo los módulos descritos anteriormente, se plasma a continuación la imagen del prototipo Analizador de calidad de potencia eléctrica A.C.P.E. En él se perciben los diferentes bloques para la medición, control, visualización, almacenamiento y envío de datos.

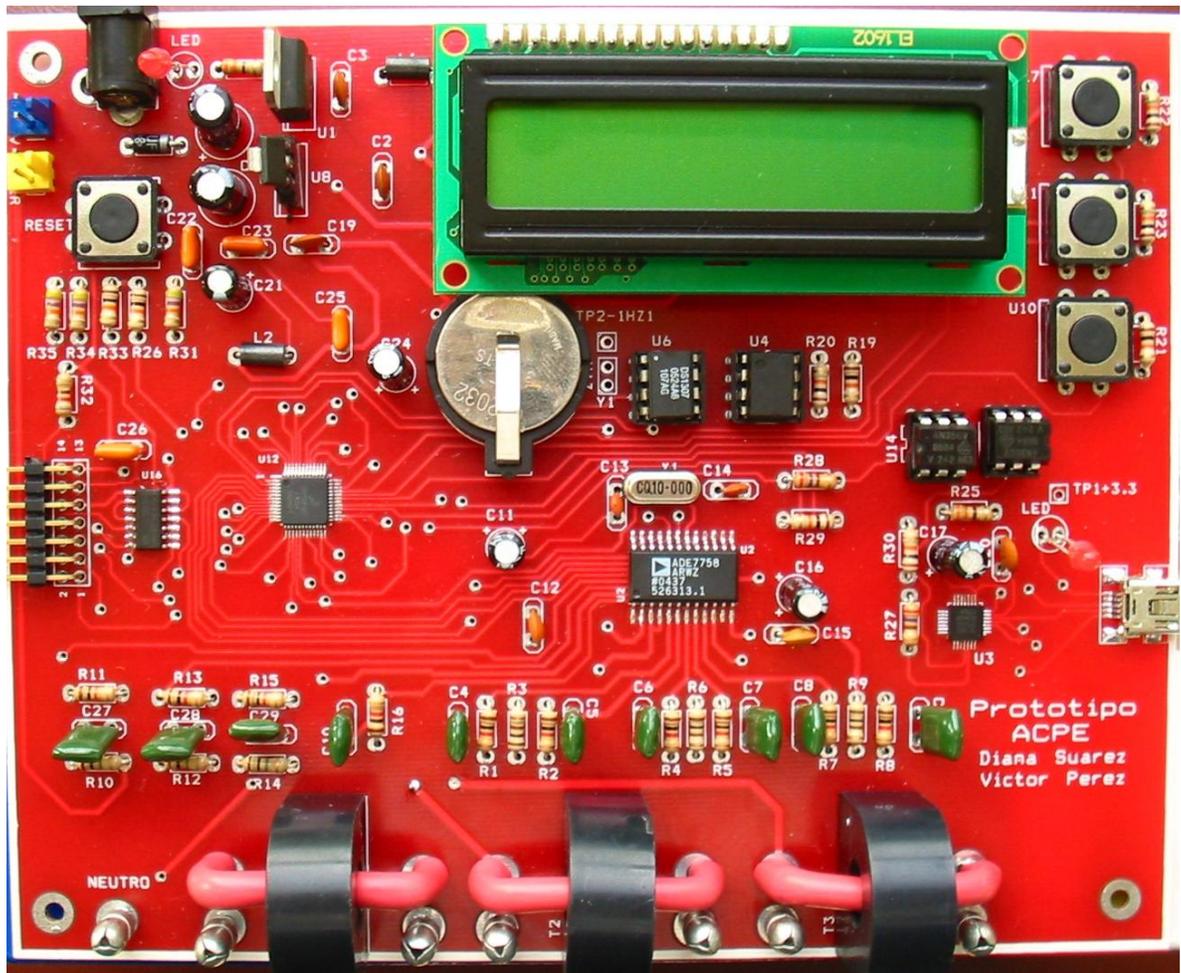


Figura 33. Hardware final prototipo ACPE.

## 4.2 SOFTWARE

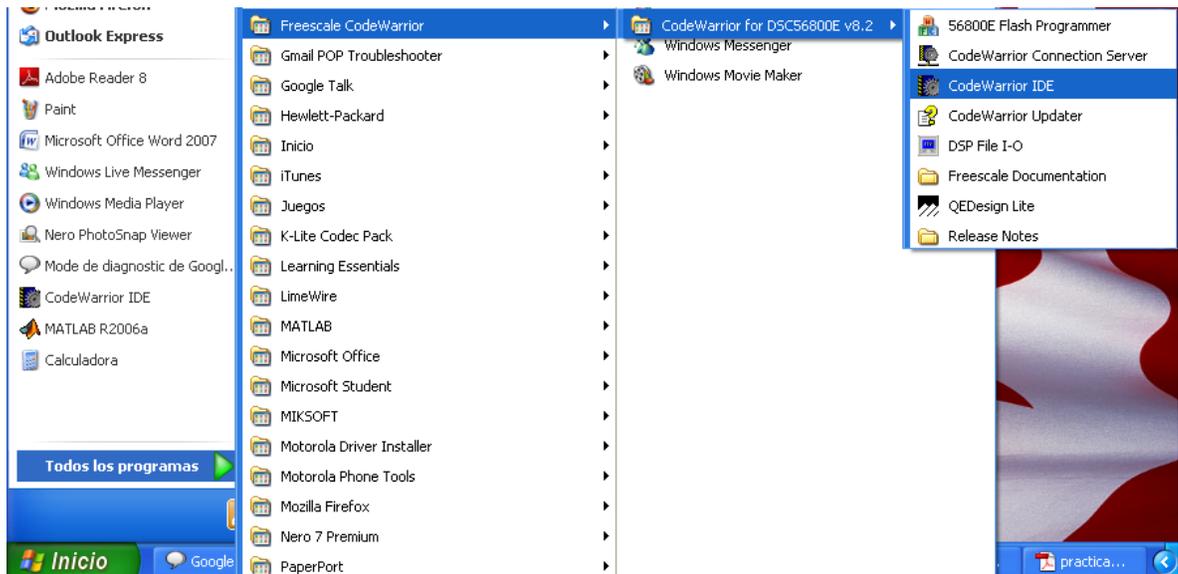
Un entorno de programación es un software que proporciona todas las herramientas necesarias para el desarrollo de un programa. Éstas básicamente son:

- Un editor de texto para escribir el código fuente.
- Un compilador para obtener el código ejecutable.
- Un entorno para la ejecución segura de los programas creados.
- Un depurador para corregir los errores de ejecución.

Todas estas herramientas las proporcionan nuestros entornos de programación *Metrowerks CodeWarrior* y *Matlab*. Para efectos del proyecto se utilizara la versión 8.2 y 7.2 respectivamente.

### 4.2.1 Entorno de Programación Codewarrior.

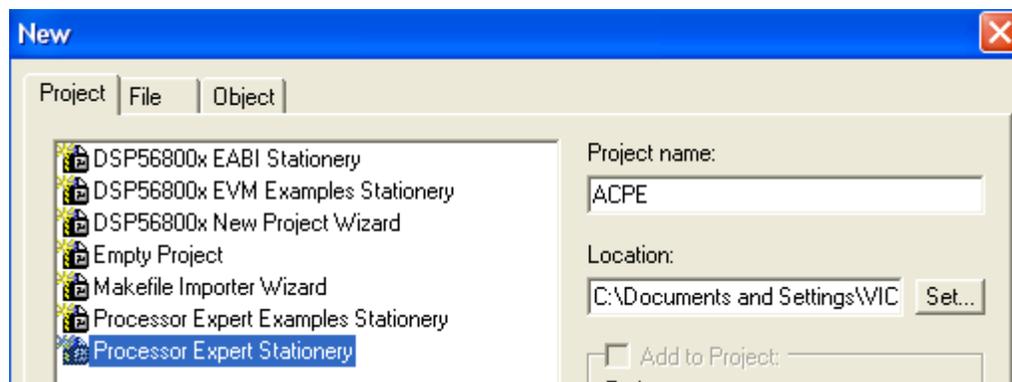
Para abrir el entorno deberemos acudir al acceso directo del escritorio o bien en el menú de inicio.



Para empezar a escribir el programa, tenemos que crear un proyecto nuevo. Un proyecto es un conjunto de ficheros 'agrupados dentro de una carpeta' que contendrá el código fuente del programa y la información necesaria para depurar y crear el fichero ejecutable. Creamos un proyecto nuevo desde el menú *File* eligiendo la opción *New*.

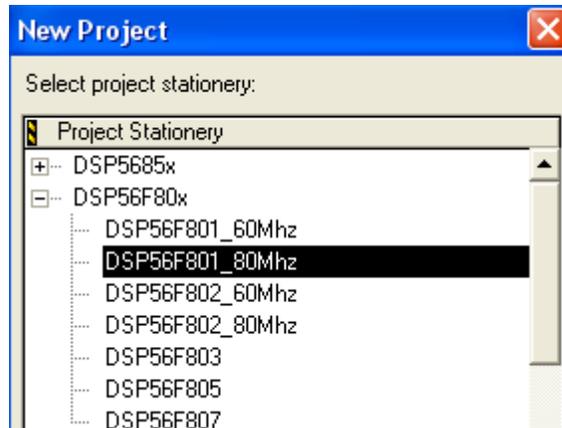


Nos aparecerá una ventana para elegir el tipo de proyecto que deseamos crear:

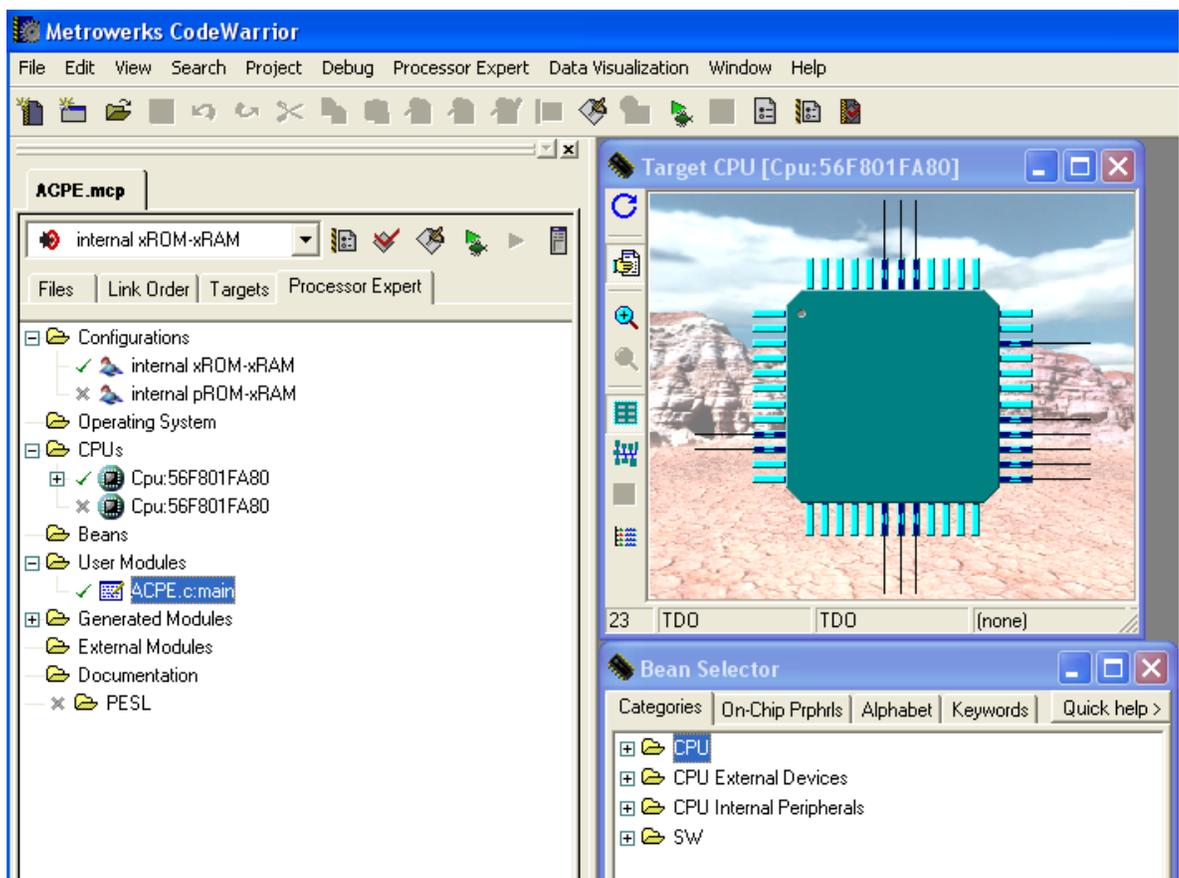


Aunque existen varias opciones para crear nuestros proyectos, dependiendo por ejemplo del lenguaje que vayamos a utilizar y del sistema operativo para el que queramos hacer nuestras aplicaciones, para el caso, la manera más rápida es seleccionando como aparece en la grafica. En el cuadro *Project name* escribiremos el nombre que queremos dar a nuestro proyecto, por ejemplo *ACPE*, y en el cuadro *Location* indicaremos la carpeta donde queremos guardar el proyecto. Después clic en aceptar.

Ahora aparece otra ventana donde se debe escoger el dispositivo a programar, en este caso *DSP 56F801\_80MHZ*. Y clic en OK.

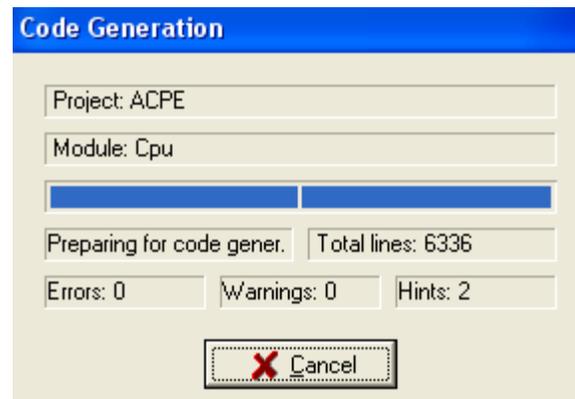
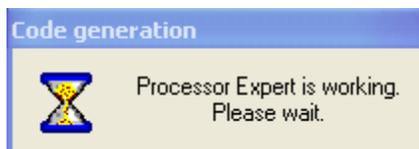
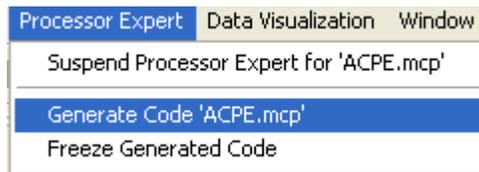


Ahora nos aparece la siguiente ventana.



En la parte izquierda del entorno tenemos las propiedades del proyecto, y entre ellas los ficheros que éste contiene. El proyecto por defecto crea el fichero con el nombre que se puso antes, *ACPE.c*. Y en la parte derecha podemos tener las ventanas y adicionalmente el código fuente de nuestro programa.

Para ver el fichero de código fuente, bastará con hacer doble clic sobre su nombre en la ventana de la parte izquierda del entorno, pero antes debemos dirigirnos a la barra de tareas seleccionar *Processor Expert* y clic en “*Generar Código*”.



Ahora ya se está preparado para editar nuestro código fuente, es decir, se puede empezar a escribir nuestro programa.

### 4.2.1.1 Comunicación DSP-ADE.

Para acceder a los registros contenidos en la memoria del ADE7758 es necesario utilizar el protocolo SPI, pero este protocolo no está muy bien definido ya que posee variaciones de fabricante en fabricante, e inclusive, varía en diversos productos de un mismo fabricante; por esta razón se incluye en el manual de cada componente una explicación de la forma y temporización de la comunicación. La comunicación se realiza con cuatro conductores (como lo especifica el protocolo SPI) los cuales se describen en la siguiente tabla.

Señal	Función
Chip Select	Activo bajo cuando se quiere iniciar la comunicación, debe mantenerse en el nivel bajo durante toda la comunicación.
Data Out	Para el envío de datos desde el Chip al microcontrolador.
Data In	Para la recepción de datos desde el microcontrolador.
Clock	(SCLK) Se utiliza para la sincronización de la comunicación, los bits deben ser enviados con cada pulso de reloj según se ve en la figura.

Tabla 9. Señales de comunicación SPI del ADE7758.

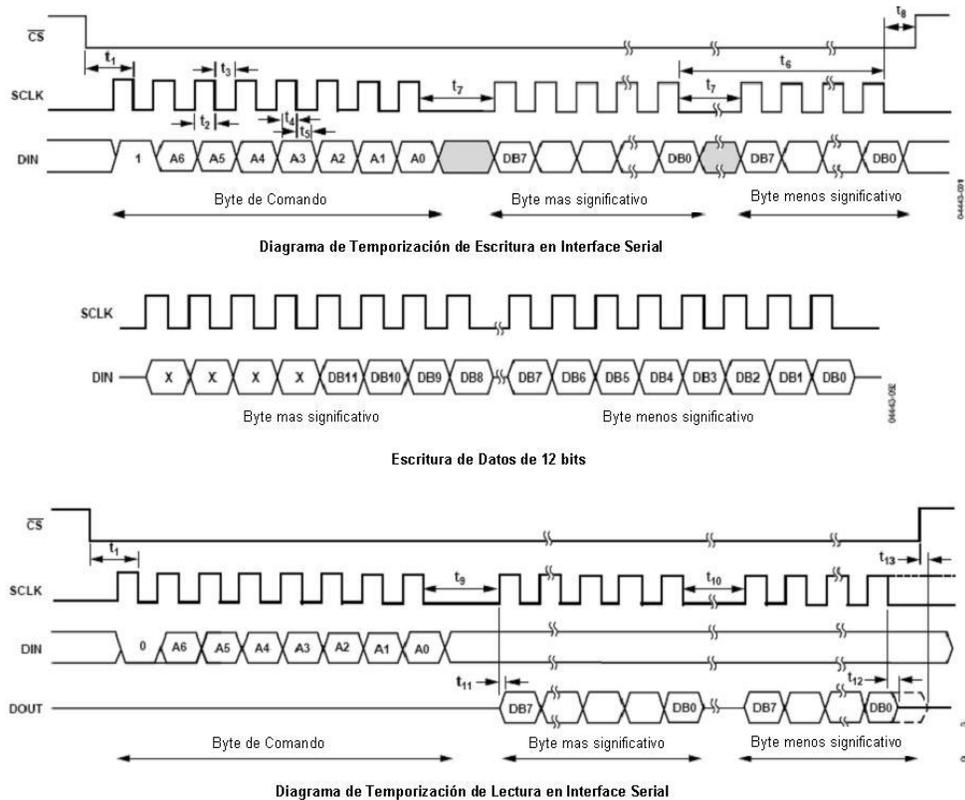
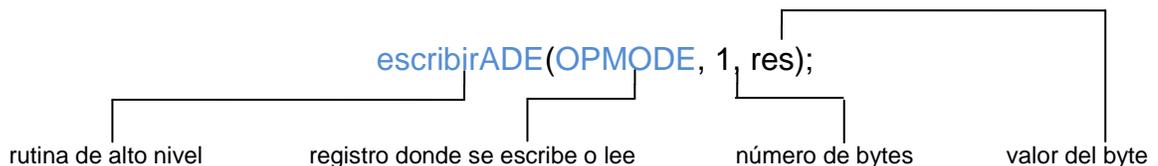


Figura 34. Diagrama de Comunicación SPI del ADE7758.

En la figura anterior se muestra como los datos son enviados o recibidos siguiendo un orden establecido: Primero un byte de comando, el cual contiene la dirección a acceder y un bit que determina si se trata de una lectura o escritura; segundo los bytes que contienen los datos a enviar o recibir, siempre comenzando desde el byte mas significativo al menos significativo. En caso de ser necesario enviar información de fracciones de Byte, se tendrán “don’t Care” de relleno en los bits mas significativos.

Para realizar el código se emplearon dos rutinas de alto nivel llamadas “*escribir ADE*” y “*leer ADE*”, que utilizan la librería *ade.h*, dentro de las cual se introdujeron los parámetros para la correcta comunicación. Como primera medida se definieron todo los registros a utilizar que se encuentran en el Datasheet del ADE7758, por ejemplo se definió el registro *AWATTHR*, que es el registro de acumulación de energía activa de la fase A y se encuentra en la dirección de memoria *0x01*. Dentro de la rutina también se define, *CS*, descrito anteriormente, como el bit selector que debe permanecer activo-bajo durante la comunicación. Eso sería todo, ya que el DSP cuenta con un modulo de comunicación SPI (*Bean SPI*) y éste modulo ya cuenta con rutinas para el envío (*SendChar*) y recepción (*RecvChar*) de datos, tiempos de retardo y tamaño de la palabra. Todo esto facilita el entendimiento entre los dispositivos. Y ahorra tiempo al programador. Por tanto en el programa principal, se configura el ADE7558 dependiendo de las necesidades y se leerán los registros necesarios para el funcionamiento del proyecto.

A continuación se plasmara el código utilizado para la comunicación entre el DSP56F801 y el ADE7758.



Nota: si se desea saber el porque se cargan los números a continuación, remitirse al datasheet del ADE7758, sección registers, pag. 60.

```

//**** INICIO DE PROGRAMA ****

#include    "ade.h"    //librería ADE, establecida por el programador en la cual
                    //se introducen todo los registros, dirección de memoria
                    // y las rutinas de envío y recepción de datos

//**** CONFIGURACIÓN ADE ****

void medir_valores(void) // rutina para medir todos los valores de las 3 fases
{
    unsigned int iFase; //se declara una variable para hacer barrido entre fases

    long regLeido; // almacena el valor obtenido de los registros del ADE

    unsigned char res[4]; //vector de cuatro posiciones

    res[0] = 0x04;
    escribirADE(OPMODE, 1, res); //ADE en operación normal

    res[0] = 0x1C;
    escribirADE(COMPMODE, 1, res); //calcula energía modo 1: 3-phase 4-Wire

    res[0] = 0x00;
    res[1] = 0x40;
    res[2] = 0x38;
    escribirADE(MASK, 3, res); //configura registro de interrupciones

    res[0] = 0x06;
    escribirADE(SAGCYC, 1, res); //configura detección de SAG

    res[0] = 0x78;
    escribirADE(LCYCMODE, 1, res); //muestra frecuencia

    res[0] = 0x00;
    escribirADE(GAIN, 1, res); //ganancia 1 para entradas voltaje y corriente

    leerADE(STATUS, 3, res); //banderas de interrupciones

    leerADE(RSTATUS, 3, res); //clarea banderas de status

```

```
//**** LECTURA DE REGISTROS ADE ****
```

```
for(iFase=0;iFase<3;iFase++) // bucle donde se leen las tres fases
{
    Res[0] = 0x08 + iFase;
    escribirADE(WAVMODE, 1, res); // selecciona leer potencia activa
    leerADE(AWATTHR + iFase, 2, res); //lee potencia activa fase a
    regLeido = res[1] + 256*res[0]; // almacena valor leído de AWATTHR
    .... // se repite para las 2 fases restantes
    Res[0] = 0x0C + iFase;
    escribirADE(WAVMODE, 1, res); // selecciona leer potencia reactiva
    leerADE(AVARHR + iFase, 2, res); //lee potencia reactiva fase a
    regLeido = res[1] + 256*res[0]; // almacena valor leído de AVARHR
    ....
    Res[0] = 0x1C + iFase;
    escribirADE(WAVMODE, 1, res); // selecciona leer potencia aparente
    leerADE(AVAHR + iFase, 2, res); //lee potencia aparente fase a
    regLeido = res[1] + 256*res[0]; // almacena valor leído de AVAHR
    ....
    Res[0] = 0x04 + iFase;
    escribirADE(WAVMODE, 1, res); // selecciona leer voltaje
    leerADE(AVRMS + iFase, 3, res); //lee voltaje rms fase a
    regLeido = res[1] + 256*res[0]; // almacena valor leído de AVRMS
    ....
    Res[0] = 0x00 + iFase;
    escribirADE(WAVMODE, 1, res); // selecciona leer corriente
    leerADE(AIRMS + iFase, 3, res); //lee corriente rms fase a
    regLeido = res[1] + 256*res[0]; // almacena valor leído de AIRMS
    ....
    Res[0] = 0xFC + iFase;
    escribirADE(MMODE, 1, res); // selecciona leer frecuencia
    leerADE(FREQ + iFase, 2, res); //lee frecuencia fase a
    regLeido = res[1] + 256*res[0]; // almacena valor leído de FREQ
    .....
}
}
```

```
//**** FIN DE PROGRAMA ****
```

#### 4.2.1.2 Comunicación DSP-LCD.

A continuación se listan las instrucciones principales para el manejo de pantalla modulo LCD que serán enviadas por el DSP.

- ❖ **CLEAR DISPLAY:** Borra el módulo LCD y coloca el cursor en la primera posición (dirección 0). Pone el bit I/D a 1 por defecto.

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tiempo de ejecución: 1.64mS

- ❖ **HOME:** Coloca el cursor en la posición de inicio (dirección 0) y hace que el display comience a desplazarse desde la posición original. El contenido de la memoria RAM de datos de visualización (DD RAM) permanece invariable. La dirección de la memoria RAM de datos para la visualización (DD RAM) es puesta a 0.

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	X

Tiempo de ejecución: 1.64mS

- ❖ **ENTRY MODE SET:** Establece la dirección de movimiento del cursor y especifica si la visualización se va desplazando a la siguiente posición de la pantalla o no. Estas operaciones se ejecutan durante la lectura o escritura de la DD RAM o CG RAM. Para visualizar normalmente poner el bit S=0.

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

Tiempo de ejecución: 40µS

**I/D:** Incrementa (I/D = 1) o decremento (I/D = 0) la dirección de la DD-RAM (Display Data RAM) en una unidad cada vez que es usada una instrucción de lectura o escritura. El cursor se mueve hacia la derecha cuando el bit I/D está en uno. Lo mismo se aplica para la CG-RAM (Character Generator RAM).

**S:** cuando S = 1 el mensaje se desliza hacia la izquierda (si el bit I/D = 1) o hacia la derecha (si el bit I/D = 0). El cursor acompaña el movimiento de los caracteres.

- ❖ **DISPLAY ON/OFF CONTROL:** Activa o desactiva poniendo en ON/OFF tanto al display (D) como al cursor (C) y se establece si este último debe o no parpadear (B).

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

Tiempo de ejecución: 40µS

**D:** El mensaje aparece (se hace visible) cuando D = 1 y desaparece (invisible) cuando D = 0, pero como el contenido de la DD-RAM permanece inalterado, el mensaje no cambia cuando D = 1.

**C:** El cursor aparece (es visible) cuando C = 1 y desaparece (invisible) cuando C = 0. Los datos contenidos en pantalla no se ven afectados por operaciones en este bit.. El cursor es representado por cinco puntos de la octava línea cuando la matriz de caracteres es de 7x5 o de 8x5 y utilizando cinco puntos de la décima línea cuando la matriz es de 11x5.

**B:** Cuando B = 1 y C = 1 el cursor aparece alternando con el texto en ese segmento con la matriz con todos sus pixeles (puntos) encendidos (negros) en intervalos regulares de 0,4 segundos. Cuando B = 1 y C = 0, obtenemos la activación de un cubo negro (todos los pixeles de la matriz activos) con intervalos regulares de 0,4 segundos, quedando relegado el texto que hubiese en el display.

- ❖ **CURSOR OR DISPLAY SHIFT:** Mueve el cursor y desplaza el display sin cambiar el contenido de la memoria de datos de visualización DD RAM.

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	X	X

Tiempo de ejecución: 40µS

S/C	R/L	Efecto
0	0	Desplaza el cursor hacia la izquierda (decrementa el contador de direcciones en una unidad).
0	1	Desplaza el cursor hacia la derecha (incrementa el contador de direcciones en una unidad)
1	0	Desplaza el cursor, junto con el mensaje, hacia la izquierda.
1	1	Desplaza el cursor, junto con el mensaje, hacia la derecha.

- ❖ **FUNCTION SET:** Establece el tamaño de interface con el bus de datos (DL), número de líneas del display (N) y tipo de carácter (F)

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	X	X

Tiempo de ejecución: 40µS

**DL:** Establece el número de bits de interconexión. Los datos son transportados en 8 bits (DB<sub>7</sub> - DB<sub>0</sub>) cuando DL = 1, y en 4 bits (DB<sub>7</sub> - DB<sub>4</sub>) cuando DL = 0. Cuando los datos viajan en 4 bits, es preciso efectuar dos operaciones en vez de una. En una primera instancia viajan los bits mas significativos y, en una última, viajan los menos significativos.

**N:** Establece el número de líneas de la pantalla.

**F:** Establece el tipo de matriz.

- ❖ **SET THE CG RAM ADDRESS:** El módulo LCD además de tener definidos todo el conjunto de caracteres ASCII, permite al usuario definir 4 u 8 caracteres gráficos. La composición de estos caracteres se va guardando en una memoria llamada CG RAM con capacidad para 64 bytes. Cada carácter gráfico definido por el usuario se compone de 16 u 8 bytes que se almacenan en sucesivas posiciones de la CG RAM.

Mediante esta instrucción se establece la dirección de memoria CG RAM a partir de la cual se irán almacenando los bytes que definen un carácter gráfico. Ejecutando este comando todos los datos que se lean o escriban posteriormente, lo hacen desde esta memoria CG RAM.

RS	R/W	DB7							DB0
0	0	0	1	A5	A4	A3	A2	A1	A0

Tiempo de ejecución: 40µS

- ❖ **SET THE DD RAM ADDRESS:** Los caracteres o datos que se van visualizando, se van almacenando en una memoria llamada DD RAM para de aquí pasar a la pantalla.

Mediante esta instrucción se establece la dirección de la memoria DD RAM a partir de la cual se irán almacenando los datos a visualizar.

Ejecutando este comando, todos los datos que se escriban o lean posteriormente lo harán desde esta memoria DD RAM. Las direcciones de la 80h a la 8Fh corresponden con los 16 caracteres del primer renglón y de la C0h a la CFh con los 16 caracteres del segundo renglón, para este modelo de LCD.

RS	R/W	DB7							DB0
0	0	1	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0

Tiempo de ejecución: 40µS

- ❖ **READ BUSY FLAG & ADDRESS:** Permite la lectura del bit 7 que funciona como busy flag ó bandera de ocupado. Cuando BF = 1 el sistema está ocupado en alguna operación interna y no acepta ninguna instrucción hasta que BF = 0, o sea que se desocupe. Cualquier instrucción enviada por error no será leída, por lo que será nula. Además de esto, permite la lectura del contador de direcciones expresado por un número binario (A6-A0). Como el contador de direcciones contiene tanto a la DD-RAM (Display Data RAM) como a la CG-RAM (Character Generator RAM) su contenido depende de la instrucción anterior.

RS	R/W	DB7							DB0
0	1	BF	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0

Tiempo de ejecución: 40µS

- ❖ **WRITE DATA TO GG OR DD RAM:** Mediante este comando se escribe en la memoria DD RAM los datos que se quieren presentar en pantalla y que serán los diferentes códigos ASCII de los caracteres a visualizar.

Igualmente se escribe en la memoria CG RAM los diferentes bytes que permiten confeccionar caracteres gráficos a gusto del usuario.

El escribir en uno u otro tipo de memoria depende de si se ha empleado previamente la instrucción de direccionamiento DD RAM o la de direccionamiento CG RAM.

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	Código ASCII o byte del carácter gráfico							

Tiempo de ejecución: 40µS

- ❖ **READ DATA FROM CG RAM OR DD RAM:** Mediante este comando se lee de la memoria DD RAM los datos que haya almacenados y que serán los códigos ASCII de los caracteres almacenados.

Igualmente se lee de la memoria CG RAM los diferentes bytes con los que se ha confeccionado un determinado carácter gráfico.

El leer de uno u otro tipo de memoria depende de si se ha empleado previamente la instrucción de direccionamiento de la DD RAM o la de direccionamiento CG RAM.

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	Código ASCII o byte del carácter gráfico							

Tiempo de ejecución: 40µS

Para facilitar el envío de datos se crearon dos librerías una *lcd.h* donde se definen los bits E para habilitar y deshabilitar el LCD, RS para decirle al lcd si lo que se le envía es un dato o una instrucción y el bus de datos de 4 bits definidos como DB7, DB6, DB5, DB4 respectivamente; dentro de ella se definen también rutinas para la inicialización del lcd. Y otra librería *display.h* que se encarga de enviar los datos correctamente a través de 4 bits, es decir realizar las conversiones de hexadecimal a decimal, ya que se manejan datos de hasta 24 bits.

A continuación se plasmará el código utilizado para la comunicación entre el DSP56F801 y el LCD 2x16.

```
***** INICIO DE PROGRAMA *****
```

```
#include "lcd.h" //en esta librería, establecida por el programador, se
                //definen los bits E, RS, Bus de datos y tiempos de
                //retardo para la correcta comunicación con el LCD.
```

```
#include "display.h" //en esta librería, establecida por el programador se
                    //envían hasta 24 bits por un bus de 4 y realiza
                    //conversiones de hex a dec.
```

```
void mostrarlcd(void)
```

```
{
    int mostrarFase; //función que se encarga de detectar la fase
    int mostrarValor; //función que extrae el valor del registro
    int refresh; //función que refresca la pantalla
```

```
    lcdInit(); //se encarga de inicializar el lcd
    refresh = 1; //realiza un refresco de pantalla cada segundo
```

```
    if (refresh)
    {
        lcdSend(LCD_2L, LCD_CMD); //primera línea para etiqueta de fase
                                //segunda línea para etiqueta de registro
                                //valor del registro y unidad del registro.
        lcdSendStr(mostrarFase); //muestra la fase que se selecciono
        lcdSendStr("VRMS: "); //muestra la etiqueta de VRMS
        lcdSendStr(mostrarValor); //muestra el valor del registro
        lcdSendStr("V"); //muestra la unidad del valor del registro
```

```
    }
}
***** FIN DE PROGRAMA *****
```

#### 4.2.1.3 Comunicación DSP-RTC-EEPROM.

Para comunicarse con el DS1307 se requiere tres conductores, y utilizar un sencillo protocolo de comunicación basado en 2 bytes por dato a intercambiar, estos Bytes se describen de la siguiente manera:

- El primer byte: contiene especificada la dirección de memoria en los bits más significativos, dejando el último bit (menos significativo) para especificar si se trata de un comando de lectura o escritura.
- El segundo byte: contiene el numero BCD que se desea transmitir para programar la hora.

En total el chip cuenta con 64 bytes de memoria, en donde la primera página de 32 bytes contiene los registros asociados al conteo del tiempo y los restantes 32 son para uso general.

Por otro lado para comunicarse con la memoria 24LC16 hay que tener en cuenta dos pasos, uno de "Escritura" y otro de "Lectura" respectivamente.

- **Operación de Escritura.** La escritura comienza por un START, direccionamiento del dispositivo, dirección del byte y finalmente el byte a escribir, después de cada elemento se añade un ACK por parte de la memoria como se indica en la figura.

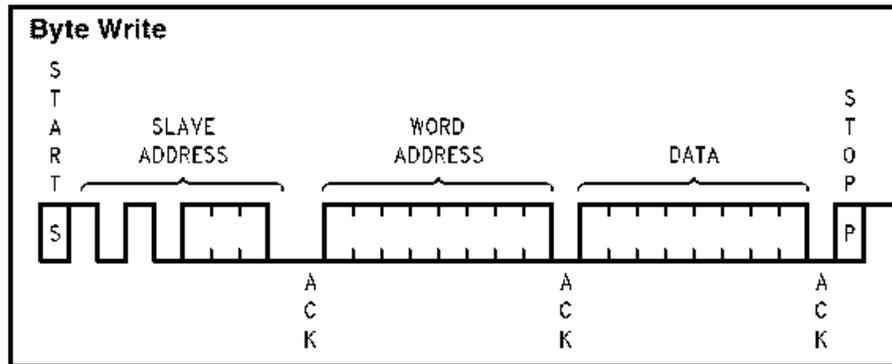


Figura 35. Diagrama de tiempos Operación de Escritura.

Ahora bien si lo que se desea es escribir un grupo de 16 bytes sólo es necesario enviar la dirección del primero de ellos y a continuación el resto, la memoria posee un contador interno que determina la dirección actual, este se irá incrementando para cada byte.

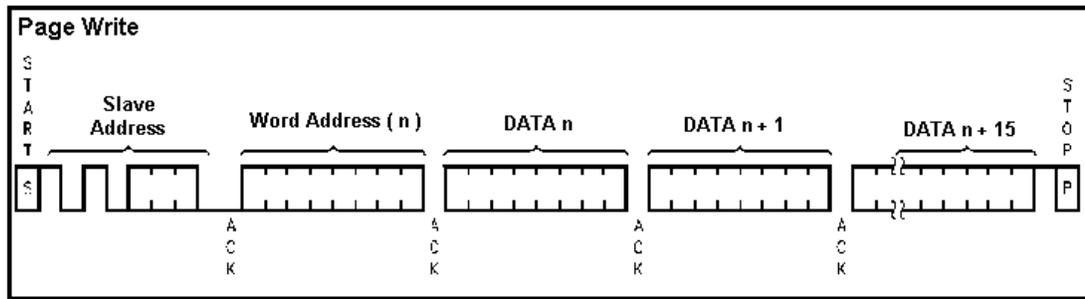


Figura 36. Diagrama de tiempos Escritura Secuencial.

La diferencia respecto a la escritura de un único byte estriba en el hecho del señalizador del STOP, si este no aparece es que se debe escribir sucesivos bytes. La figura muestra el caso. Una escritura incluye un borrado del contenido de la dirección por lo que esta es mucho más lenta que una lectura.

- **Operación de Lectura.** Las operaciones de lectura son 3, la lectura de la dirección actual (almacenada por el contador de dirección), lectura arbitraria en cualquier posición de la memoria y finalmente la lectura secuencial.

- ✓ **Lectura actual:** Toma la posición actual de la memoria, como puede verse en la figura, después del dato no hay un ACK, ya que este va dirigido al master.

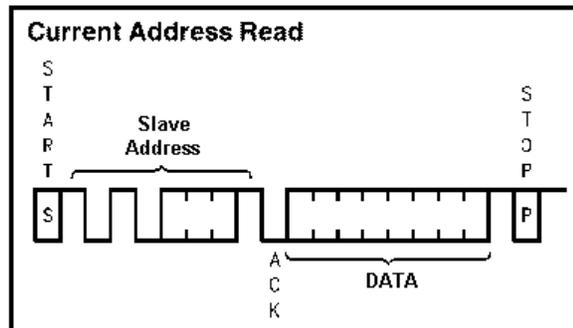


Figura 37. Diagrama de tiempos Lectura Actual.

- ✓ **Lectura arbitraria:** En esta lectura se indica la posición a leer la información, hay que destacar que primero se ha de enviar la dirección y después se recibe el dato, por eso existe un ACK después de la dirección.

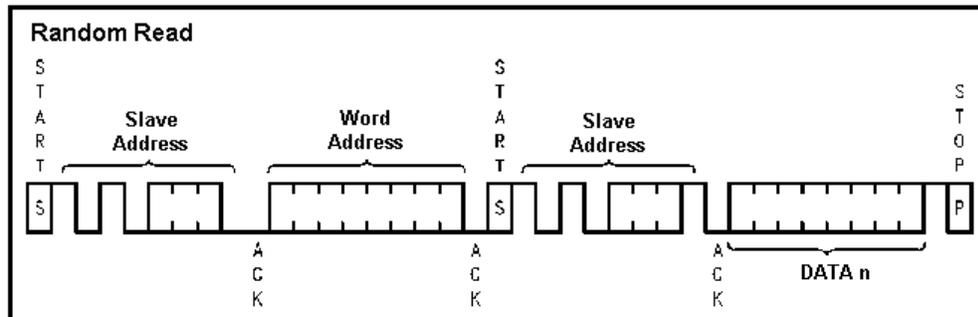


Figura 38. Diagrama de tiempos Lectura Arbitraria.

- ✓ **Lectura secuencial:** La lectura secuencial toma la dirección actual y va extrayendo los datos uno detrás del otro, hay que tener en cuenta que se lee la página actual y esta no se cambia cuando se llega al final por lo que la lectura como máximo es de 16 bytes.

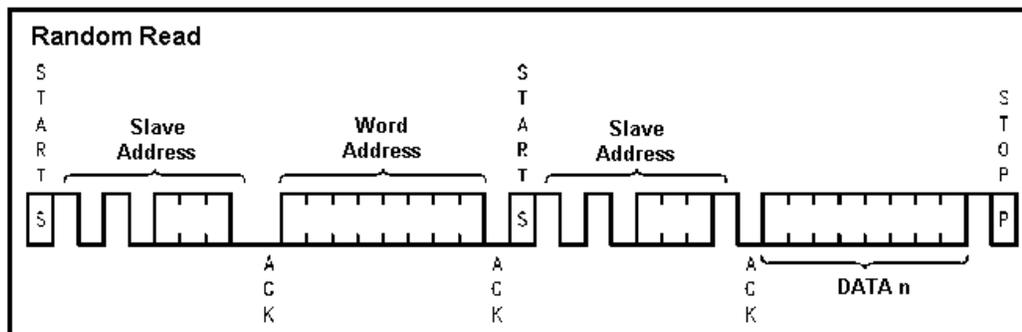


Figura 39. Diagrama de tiempos Lectura Secuencial.

Gracias a las ventajas del Codewarrior, para la comunicación con el reloj de tiempo real y la memoria eeprom se emplean los “beans SDA” (*serial data*), SCL (*serial clock*) para establecer una comunicación I<sup>2</sup>C entre los dispositivos, siendo el DSP, por obvias razones el “*master device*”, el RTC, “*slave device\_0*” y la EEPROM, “*slave device\_1*”. Posteriormente se crea una librería *i2c.h* donde se definen las direcciones de los dispositivos esclavos, un retardo de comunicación, funciones para el envío-recepción de datos y envío-recepción de direcciones.

A continuación se plasmará el código utilizado para la comunicación entre el DSP56F801 y la EEPROM 24LC16 y el RTC DS1307.

```
***** INICIO DE PROGRAMA *****
```

```
#include "i2c.h" //en esta librería, establecida por el programador se
                //se configura todo en cuanto a bajo nivel se refiere
                //activo-altos y activo-bajos de bits, retardos, etc.
```

```
void comunicación_i2c(void)
```

```
{
```

```
unsigned char data; //variable para enviar/recibir datos
```

```
unsigned char device; //variable para seleccionar dispositivo esclavo
```

```
unsigned int dir; //variable para enviar/recibir dirección
```

```
i2cStartBit(); //inicia transmisión
```

```
i2cSenddata(100, I2CEEPROM,0); //rutina para enviar; los parámetros se colocan
                                //en el orden de descrito anteriormente
                                //(dato,device,dir)
```

```
i2cStopBit(); //finaliza transmisión
```

```
i2cDelay(); //retardo para después leer
```

```
i2cRecvdata(data,I2CEEPROM,0); //rutina para recibir; data se almacena el dato
                                //leído de la dirección 0 de la EEPROM en data
```

```
}
```

```
***** FIN DE PROGRAMA *****
```

#### 4.2.1.4 Comunicación DSP-PC.

El CP2102 incluye: controlador de funciones USB 2.0 de alta velocidad, transmisor receptor USB, oscilador, EEPROM y UART.

Para la comunicación con el PC se requerirá en primera instancia la instalación del driver suministrado por el fabricante SiLabs. Esto permite que un dispositivo como el CP2102 aparezca como puerto COM en aplicaciones con el PC.

El programa para el envío de datos al pc es en extremo sencillo, ya que se emplea el *bean AS1 (comunicación serial asíncrona)*, en este “bean” se definen por defecto los pines utilizados de TDX, y RDX, descritos anteriormente, como los empleados por el CP. Dentro del “bean” también se especifica la velocidad de transmisión, numero de bits, bit stop, sin paridad, como parámetros para la comunicación con el computador. Esto simplifica la programación al mínimo, dejando solo las instrucciones internas del “bean”, *AS1\_SendChar* y *AS1\_RecvChar*, como las responsables para el envío y recepción de datos.

A continuación se plasmara el código utilizado para la comunicación entre el DSP56F801 y el CP2102.

```
***** INICIO DE PROGRAMA *****
```

```
void enviarDatos(void) //función para enviar datos
{
    unsigned char datos[24]; // variable donde se guarda el numero de bytes
    unsigned int i; //variable para conteo del numero de bytes

    long2charCompleta(avmrs[0], &datos[0]); //función para convertir de 4 bytes
    long2charCompleta(airms[1], &datos[4]); //a 1 byte y la guarda en la variable
    long2charCompleta(awatthr[2], &datos[8]); // datos para ser enviada de a un
    long2charCompleta(avarhr[3], &datos[12]); //byte.
    long2charCompleta(avahr[4], &datos[16]);
    long2charCompleta(afreq[5], &datos[20]);

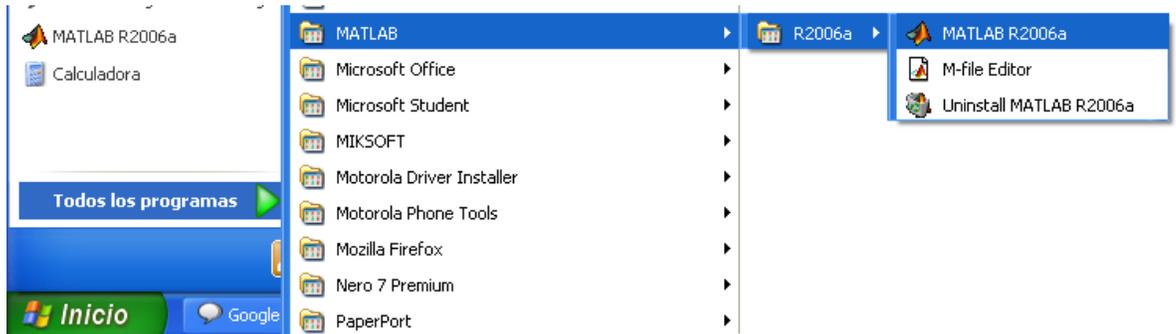
    for(i=0;i<24;i++)
    {
        while(AS1_SendChar(datos[i]) != ERR_OK); //ciclo que envía # de datos
    }
}
```

```
***** FIN DE PROGRAMA *****
```

Nota: Ver anexo 2 Programación Codewarrior incluido en el cd 1 para acceder a la totalidad del programa.

## 4.2.2 Entorno de Programación Matlab.

Para abrir el entorno deberemos acudir al acceso directo del escritorio o bien en el menú de inicio.



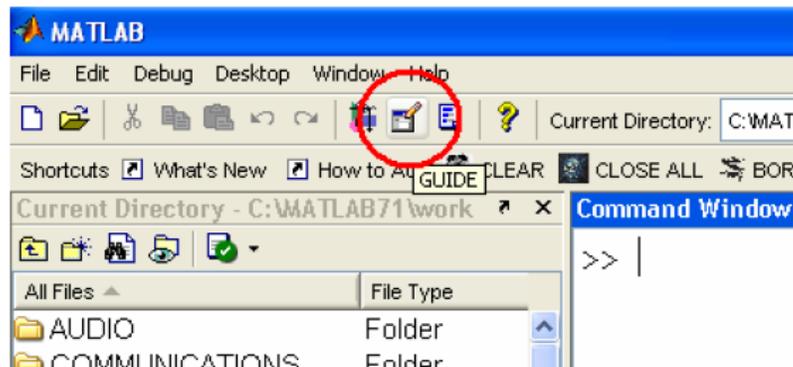
Se utilizo la herramienta GUIDE, para el propósito de la Interfaz. GUIDE es un entorno de programación visual disponible en MATLAB para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++.

Para iniciar el proyecto, se puede hacer de dos maneras:

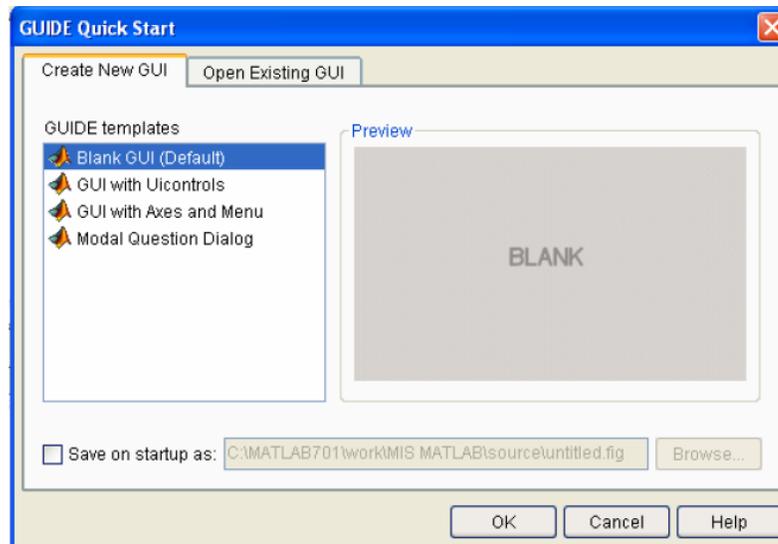
- Ejecutando la siguiente instrucción en la ventana de comandos:

**>> guide**

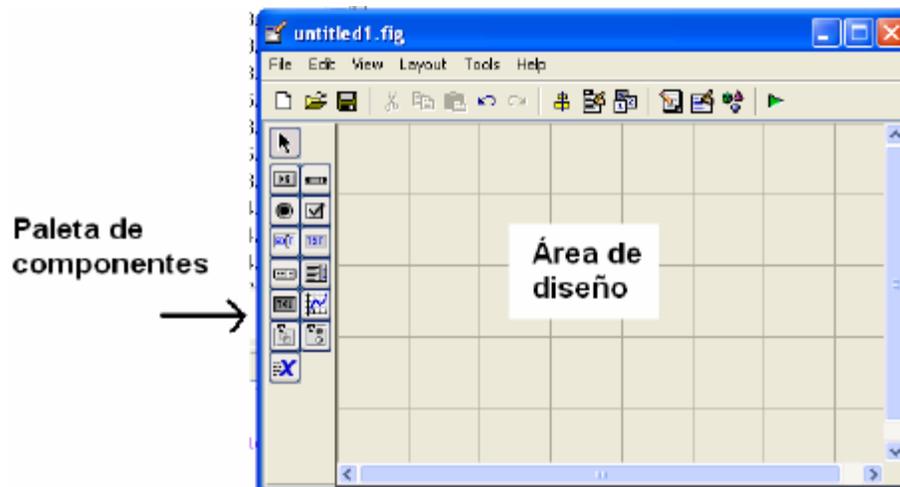
- Haciendo un clic en el ícono que muestra la figura:



Se presenta la siguiente ventana:



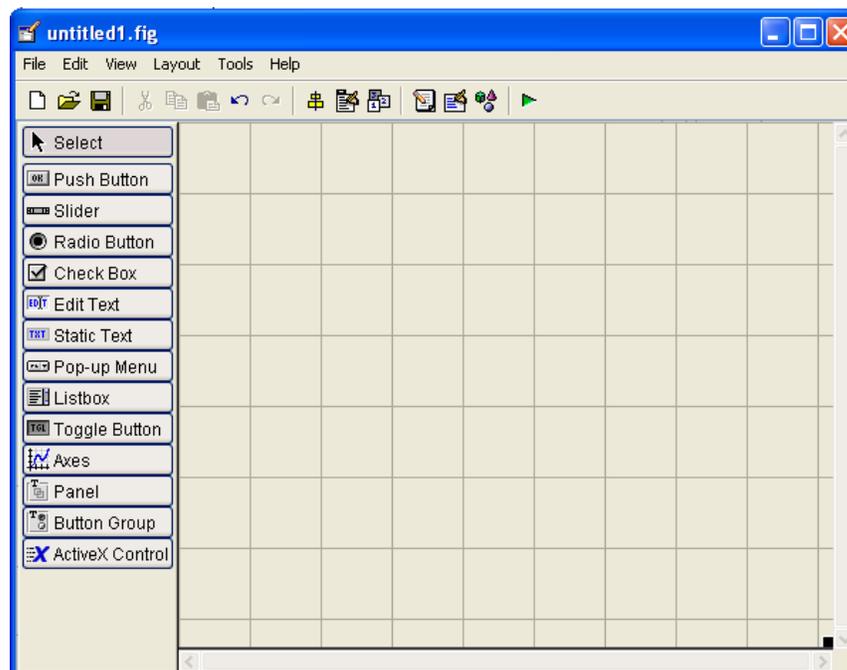
Se presentan varias opciones; se elige *Blank GUI*. Y tenemos:



La interfaz grafica cuenta con las siguientes herramientas:

	Alinear objetos.
	Editor de menú.
	Editor de orden de etiqueta.
	Editor del M-file.
	Propiedades de objetos.
	Navegador de objetos.
	Grabar y ejecutar (ctrl. + T).

Para obtener la etiqueta de cada elemento de la paleta de componentes ejecutamos: *File>>Preferentes* y seleccionamos *Show names in component palette*. Tenemos la siguiente presentación:

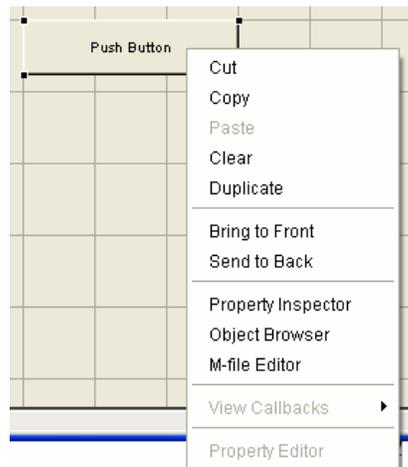


La siguiente tabla muestra una descripción de los componentes:

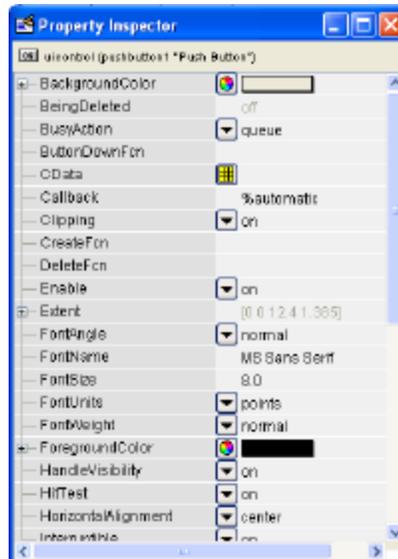
<b>Control</b>	<b>Valor de estilo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Check box</b>	'checkbox'	Indica el estado de una opción o atributo
<b>Editable Text</b>	'edit'	Caja para editar texto
<b>Pop-up menu</b>	'popupmenu'	Provee una lista de opciones
<b>List Box</b>	'listbox'	Muestra una lista deslizable
<b>Push Button</b>	'pushbutton'	Invoca un evento inmediatamente
<b>Radio Button</b>	'radio'	Indica una opción que puede ser seleccionada
<b>Toggle Button</b>	'togglebutton'	Solo dos estados, "on" o "off"
<b>Slider</b>	'slider'	Usado para representar un rango de valores
<b>Static Text</b>	'text'	Muestra un string de texto en una caja
<b>Panel button</b>		Agrupar botones como un grupo
<b>Button Group</b>		Permite exclusividad de selección con los radio button

Tabla 10. Descripción botones del Guide.

Ahora bien, cada uno de los elementos de GUI, tiene un conjunto de opciones que podemos acceder con clic derecho.



La opción *Property Inspector* nos permite personalizar cada elemento.



Al hacer click derecho en el elemento ubicado en el área de diseño, una de las opciones más importantes es *View Callbacks*, la cual, al ejecutarla, abre el archivo *.m* asociado al diseño y lo posiciona en la parte del programa que corresponde a la subrutina que se ejecutará cuando se realice una determinada acción sobre el elemento que estamos editando.

Una aplicación GUIDE consta de dos archivos: *.m* y *.fig*. El archivo *.m* es el que contiene el código con las correspondencias de los botones de control de la interfaz y el archivo *.fig* contiene los elementos gráficos. Cada vez que se adicione un nuevo elemento en la interfaz gráfica, se genera automáticamente código en el archivo *.m*. Para ejecutar una Interfaz Gráfica, si ya se ha etiquetado, en este caso *acpe.fig*, simplemente se digita en la ventana de comandos `>> acpe`. O haciendo clic derecho en el m-file y seleccionando la opción *RUN*.

#### 4.2.2.1 Interfaz de Usuario<sup>20</sup>.

A continuación se plasmara el código generado a partir del archivo *acpe.fig* en el archivo *acpe.m*.

Como se menciona anteriormente cada vez que se ubica un elemento en el área de diseño inmediatamente se genera un código en el archivo .m.

Para desplazarse entre fases:



```
% BOTON CAMBIAR DE FASE (ATRAS)
% --- Executes on button press in bfaseanterior.
function bfaseanterior_Callback(hObject, eventdata, handles) % hObject
handle to bfaseanterior (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

handles.fase = handles.fase - 1;
if(handles.fase < 0)
    handles.fase = 2;
end

refrescarDisplay(hObject, eventdata, handles);

%BOTON CAMBIAR DE FASE (ADELANTE)
% --- Executes on button press in bfasesiguiente.
function bfasesiguiente_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to bfasesiguiente (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

handles.fase = handles.fase + 1;
if(handles.fase > 2)
    handles.fase = 0;
end

refrescarDisplay(hObject, eventdata, handles);
```

<sup>20</sup> Ver Anexo 1. Manual de Usuario.

Para seleccionar COM y conectar:



```
%SELECCIONA PUERTO "COM"
% --- Executes on selection change in popcom.
function popcom_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popcom (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Hints:contents=get(hObject,'String')returns popcom contents as cell
%array contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popcom

puerto = get(handles.popcom, 'Value');
set(handles.s, 'Port', strcat('COM', num2str(puerto)));

% Almacena los valores en las estructuras
info = get(handles.t, 'UserData');
info.handles = handles;
set(handles.t, 'UserData', info);
guidata(hObject, handles);

% BOTON "CONECTAR"
% --- Executes on button press in bconectar.
function bconectar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to bconectar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

if(handles.serialAbierto)
    fclose(handles.s);
    fprintf('Advertencia: Puerto %s cerrado\n', get(handles.s, 'Port'))
    set(handles.bconectar, 'String', 'Conectar');
    handles.serialAbierto = false;
else
    fopen(handles.s);
    fprintf('Advertencia: Puerto %s abierto\n', get(handles.s, 'Port'))
    set(handles.bconectar, 'String', 'Desconectar');
    handles.serialAbierto = true;
end

% Almacena los valores en las estructuras
info = get(handles.t, 'UserData');
info.handles = handles;
set(handles.t, 'UserData', info);
guidata(hObject, handles);
```

Para descargar archivo, obtener información y salir:



```
%BOTON "DOWNLOAD"
% --- Executes on button press in balmacenar.
function balmacenar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to balmacenar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    hora = clock;
    cl1 = num2str(hora(4));
    cl2 = num2str(hora(5));
    cl3 = num2str(fix(hora(6)));
    cl = strcat(cl1, ':');
    cl = strcat(cl, cl2);
    cl = strcat(cl, ':');
    cl = strcat(cl, cl3);
    fname = strcat('bitacora_acpe_', date);
    fname = strcat(fname, '.doc');
    fid = fopen(fname, 'a');
    if(fid<0)
        fprintf('Error: No se pudo crear el archivo\n');
    else
        fprintf(fid, '\n\n***** INICIO *****\n');
        fprintf(fid, '\n\t\tA.C.P.E.\n\n');
        fprintf(fid, date);
        fprintf(fid, '\n');
        fprintf(fid, cl);
        fprintf(fid, '\n\n');
        fprintf(fid, '-----\n');
        fprintf(fid, '\tFase %c:\n\n', 'A');
        fprintf(fid, 'Vrms: %s\n', num2str(handles.faseA.vrms));
        fprintf(fid, 'Irms: %s\n', num2str(handles.faseA.irms));
        fprintf(fid, 'Freq %s\n', num2str(handles.faseA.freq));
        fprintf(fid, 'Watt: %s\n', num2str(handles.faseA.watt/1000));
        fprintf(fid, 'Var: %s\n', num2str(handles.faseA.var/1000));
        fprintf(fid, 'Va: %s\n', num2str(handles.faseA.va/1000));
        if(handles.faseA.va)
            fprintf(fid, 'fp: %s\n', num2str(handles.faseA.watt/handles.faseA.va));
        end
        fprintf(fid, '#Sag: %d\n', handles.numSagsA);
        fprintf(fid, '\n\n');
        fprintf(fid, '-----\n');
        fprintf(fid, '\tFase %c:\n\n', 'B');
        fprintf(fid, 'Vrms: %s\n', num2str(handles.faseB.vrms));
        fprintf(fid, 'Irms: %s\n', num2str(handles.faseB.irms));
```

```

fprintf(fid, 'Freq %s\n', num2str(handles.faseB.freq));
fprintf(fid, 'Watt: %s\n', num2str(handles.faseB.watt/1000));
fprintf(fid, 'Var: %s\n', num2str(handles.faseB.var/1000));
fprintf(fid, 'Va: %s\n', num2str(handles.faseB.va/1000));
if(handles.faseB.va)
fprintf(fid, 'fp: %s\n', num2str(handles.faseB.watt/handles.faseB.va));
end
fprintf(fid, '#Sag: %d\n', handles.numsagsB);
fprintf(fid, '\n\n');
fprintf(fid, '-----\n');
fprintf(fid, '\tFase %c:\n\n', 'C');
fprintf(fid, 'Vrms: %s\n', num2str(handles.faseC.vrms));
fprintf(fid, 'Irms: %s\n', num2str(handles.faseC.irms));
fprintf(fid, 'Freq %s\n', num2str(handles.faseC.freq));
fprintf(fid, 'Watt: %s\n', num2str(handles.faseC.watt/1000));
fprintf(fid, 'Var: %s\n', num2str(handles.faseC.var/1000));
fprintf(fid, 'Va: %s\n', num2str(handles.faseC.va/1000));
if(handles.faseC.va)
fprintf(fid, 'fp: %s\n', num2str(handles.faseC.watt/handles.faseC.va));
end
fprintf(fid, '#Sag: %d\n', handles.numsagsC);
fprintf(fid, '\n\n');
fprintf(fid, '-----\n\n');
fprintf(fid, '#Swell: %d\n', handles.numswells);
fprintf(fid, '\n');
fprintf(fid, '***** FIN *****\n\n');
fprintf('Advertencia: Datos almacenados en archivo\n');
fclose(fid);
end

%BOTON "ACERCA DE"
% --- Executes on button press in bacerca.
function bacerca_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to bacerca (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

about

%BOTON "SALIR"
% --- Executes on button press in bsalir.
function bsalir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to bsalir (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

stop(handles.t)
delete(handles.t)

```

Nota: Ver anexo 3 Programación Matlab incluido en el cd 1 para acceder a la totalidad del programa.

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

- ✓ Como elemento clave en el diseño del proyecto, se destaca al medidor polifásico multifuncional ADE7758, por ser el cerebro de todo el proceso de medida de los parámetros que definen al proyecto como tal. Por esto, por lo económico y por el sencillo diseño de hardware, se recomienda para posibles proyectos donde se requiera la medición de energía en redes trifásicas.
  
- ✓ El haber utilizado el DSP como dispositivo de control en el proyecto represento varias ventajas, como lo fue, la velocidad de operación para obtener las mediciones de señal en tiempo real, la facilidad en el manejo gracias al entorno de programación del Codewarrior y la cantidad de puertos disponibles para la conexión de periféricos que este dispositivo ofrece.
  
- ✓ El lenguaje de alto nivel que maneja el Codewarrior, hizo más fácil el trabajo de configuración, de los registros del ADE7758, específicamente en los de mayor tamaño.
  
- ✓ Se puede disponer de otra herramienta para facilitar la calibración del prototipo sin la necesidad de programar directamente en el DSP. Para el caso; se enviaron las constantes de calibración desde Matlab, y se verificó en tiempo real los cambios en la medición de la señal.
  
- ✓ Como una recomendación general, cuando se necesiten elementos no comerciales en el país, precisar conseguirlos con anticipación y pedir varias muestras de ellos.
  
- ✓ Se debe considerar, como aspecto para un próximo uso, las consecuencias que trae consigo el recalentamiento del DSP56F801; entre ellas, el consumo de potencia y desgaste térmico a largo plazo.
  
- ✓ Este proyecto, por estar diseñado en base a requerimientos de una norma vigente de regulación de energía, tiene una gran demanda en el sector público; por tal motivo y como es claro, se recomienda continuar con la actualización y posterior mejoramiento de este prototipo.

- ✓ Algunos aspectos a mejorar, podrían ser, la visualización de las formas de onda de los parámetros medidos, la medición de temperatura por medio del ADE, la duración de interrupciones y la implementación de los registros de calibración de este dispositivo que da una medida mas exacta. Finalmente se podría mejorar la interfaz de usuario haciéndola mas amigable y mas segura, de tal manera que solo personal autorizado pueda tener acceso a la información.
  
- ✓ Cuando solo se requiera de ciertos cambios en el código de programación del DSP, se debe prever, no realizar la conexión trifásica mientras se está conectada la tarjeta del programador, ya que las tierras de las tarjetas no se encuentran aisladas. Esto con el fin de evitar posibles daños en el prototipo y en el equipo donde se encuentra conectado el programador.
  
- ✓ Al conectar el neutro de la red trifásica, con la tierra análoga del prototipo, se establece el punto de referencia que el ADE7758 debe tener para sensar las señales de corriente y voltaje de la red. De no ser así, este dispositivo no contaría con ningún valor de señal para su proceso de medida.
  
- ✓ En el proceso de investigación, se encontró una herramienta que cumple la misma función de un MAX232 para puerto USB (CP2102). Para su uso, solo es necesario disponer del driver de comunicación. Este circuito, por ser USB el puerto mas utilizado, resulta adecuado para todo tipo de proyectos donde se necesite la interacción con el PC, o con cualquier otro dispositivo.
  
- ✓ Una comunicación USB permite, gracias a su rapidez de comunicación y su fácil instalación, que sea posible recrear una interfaz amigable entre el usuario y el analizador. Para su manejo solo se necesita de un circuito conversor USB - Serial y del driver del fabricante.

## 6. CONCLUSIONES

- ✓ Se lograron sensar las señales de corriente y voltaje de la red eléctrica, desde de un circuito acondicionador CAS; a partir de él se obtuvo los valores correspondientes de señal del cual disponía el medidor de calidad de energía ADE7758 para el posterior análisis de parámetros.
- ✓ Se implantó un sistema de medición y control, a partir del medidor de calidad de potencia eléctrica (ADE7758) y del procesador digital de señales (DSP56F801). A partir de estos dispositivos y por contar específicamente con el ADE como herramienta autónoma en la medición de energía, se lograron obtener los parámetros correspondientes y además, simplicidad y precisos resultados en el análisis de estas mediciones.
- ✓ Se logro implantar una interfaz USB en el prototipo, de manera que un solo circuito integrado asistiera todo el proceso de comunicación prototipo – computador (CP2102); suprimiendo de esta manera toda la implementación que lleva consigo el protocolo USB.
- ✓ Se logró crear una interfaz grafica, a través de Matlab que cumpliera con las condiciones de configuración y control de todas las mediciones, permitiendo con ello, la fácil calibración y visualización de los parámetros de calidad de potencia eléctrica.
- ✓ Se consiguió diseñar, construir e implementar un analizador de calidad de potencia eléctrica a partir de los requerimientos mínimos de la comisión de regulación de energía y gas (CREG), y de bajo costo.
- ✓ Como aspecto positivo en la realización del proyecto, cabe resaltar el manejo de distintas ramas de la electrónica, como fueron la potencia, la instrumentación, la microelectrónica y la programación. Esto, como un proyecto integrador afianzó de gran manera los conocimientos que en un principio se encontraban dispersos.
- ✓ Los tropiezos, problemas y dificultades mostraron, como este tipo de proyectos de investigación abren la mente del estudiante y lo lleva a experimentar nuevas técnicas de estudio, y a mantenerse en constante aprendizaje no dejando solo lo visto en la universidad.

## **Bibliografía**

### **Tesis**

**[1]** CONTRERAS MARTINEZ, Ricardo Alberto; GARCIA PICO, Juan Felipe y RAMIREZ GALVIS, Carlos Alberto. Diseño de un Contador Electrónico de Energía para consumo Residencial (C.E.E.R), Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

**[2]** GARCIA FERREIRA, Edison Leónidas y OSPINO REYES, Kevin Joel. Diseño y construcción de una tarjeta para la comunicación de datos por la red eléctrica, Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

**[3]** BASTIDAS MENDOZA Pedro Luis, SALGADO PATIÑO Camilo Andrés. Prototipo de sistema de monitoreo para infraestructura eléctrica de un nodo remoto de telecomunicaciones de la empresa telefónica colombiano. Pontificia Universidad Javeriana.

**[4]** JIMENEZ Rodrigo. Perspectiva de calidad de la energía eléctrica y su importancia en México.

**[5]** HUERTA CORTES Rodrigo, HERRERA Alejandro. Introducción a los DSP's, laboratorio de procesamiento digital de señales. Universidad técnica Federico Santa María.

## **Manuales**

**[6]** Datasheet Transformadores de Corriente AC1010

**[7]** Datasheet ADE7758

**[8]** Datasheet ADE7758\_Calibration

**[9]** Datasheet ADE7758\_Features

**[10]** Datasheet ADE7758\_Evaluation Board

**[11]**Datasheet DSP56F801

**[12]**Datasheet CSM56F801SCH

**[13]** Datasheet EEPROM 24LC16

**[14]** Datasheet RTC DS1307

**[15]** Datasheet Octocoplador LTV-4N37

**[16]** Datasheet PUENTE USB CP2102

**[17]** Micro USB CP2102

**[18]** Manejo Codewarrior

**[19]** Tutorial Codewarrior

**[20]** Manual STARCOREUG

**[21]** Manual Fluke 123

**[22]** Introducción a Matlab y Simulink

**[23]** Matlab 7.0

**[24]** Matlab Guide

## Direcciones de Internet

Información ADE 7758

[25] <http://www.analog.com/en/prod/0,2877,ADE7758,00.html>

Información DSP 56F801

[26] [http://www.freescale.com/webapp/site/prod\\_summary.jsp?code=DSP56F801](http://www.freescale.com/webapp/site/prod_summary.jsp?code=DSP56F801)

[27] <http://www.dsprelated.com/groups/motoroladsp/show/1655.php>

Información LCD

[28] <http://www.monografias.com/trabajos11/inf cinc/inf cinc.shtml>

Información EEPROM 24LC16

[29] <http://www.forosdeelectronica.com/about1013.html>

[30] <http://www.comunidadelectronicos.com/proyectos/eeeprom.htm>

Información RTC DS1307

[31] <http://www.webelectronica.com.ar/montajes1/nota02.htm>

[32] [http://picmania.garcia-cuervo.net/Proyectos\\_AUX\\_RTC.htm](http://picmania.garcia-cuervo.net/Proyectos_AUX_RTC.htm)

Información Octocoplador

[33] <http://electronred.iespana.es/optoacopla.htm>

[34] [http://electronica.ugr.es/~amroldan/modulos/enlaces/dispo\\_potencia/opto.htm](http://electronica.ugr.es/~amroldan/modulos/enlaces/dispo_potencia/opto.htm)

Información PUENTE USB CP2102

[35] [http://www.silabs.com/web\\_content/products/Microcontrollers/Interface/.htm](http://www.silabs.com/web_content/products/Microcontrollers/Interface/.htm)

[36] <http://parts.digikey.com/1/parts/500592-ic-usb-uart-bridge-cp2102-gm.html>

Información Transformadores de Corriente

[37] <http://apuntes.rincondelvago.com/transformador-de-corriente.html>

Información Herramientas de Programación

[38] <http://www.lenguajesdeprogramacion.com/herramientasdeprogramacion.shtml>

## Información Codewarrior

[39] <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?nodeId=012726>

[40] <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/?code=CWS-H08-STDED-CX>

## Información Matlab

[41] <http://www.mathworks.com/>

[42] <http://www.mat.ucm.es/~jair/matlab/notas.htm>

[43] <http://www.math.utah.edu/lab/ms/matlab/matlab.html>

## Información Circuitos trifásicos

[44] <http://www.trifasicos.com/>

[45] <http://www.monografias.com/circuitostrifasicos/circuitostrifasicos.shtml>

[46] <http://profesormolina2.webcindario.com/electromec/sistemas%20trifasicos.htm>

[47] <http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=10009>

## Información Potencia Eléctrica

[48] [http://es.wikipedia.org/wiki/Potencia\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_el%C3%A9ctrica)

[49] [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_potencia\\_elect\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia_elect_1.htm)

[50] <http://html.rincondelvago.com/potencia-electrica.html>

## Información Indicadores de Calidad de Energía Eléctrica

[51] <http://es.wikipedia.org/wiki/Arm%C3%B3nico>

[52] <http://html.rincondelvago.com/armonicos.html>

[53] <http://www.monografias.com/trabajos21/armonicos/armonicos.shtml>

[54] <http://www.lpi.tel.uva.es/cem/paginas/causasyefectosdelosarmonico.htm>

## Información Equipos de Medida

[55] <http://www.fluke.co.uk/comx/locale=eses&mag=solutions&issue=15>

[56] <http://www.taringa.net/posts/info/896034/Potencia-Electrica.html>

[57] <http://www.circutor.com/>

[58] <http://www.energuia.com/es/catalogo.aspx?FAB=68>

[59] [http://www.circutor.es/mail/newsletter\\_200601\\_sp\\_web.htm](http://www.circutor.es/mail/newsletter_200601_sp_web.htm)

## Anexo 1. MANUAL DE USUARIO.

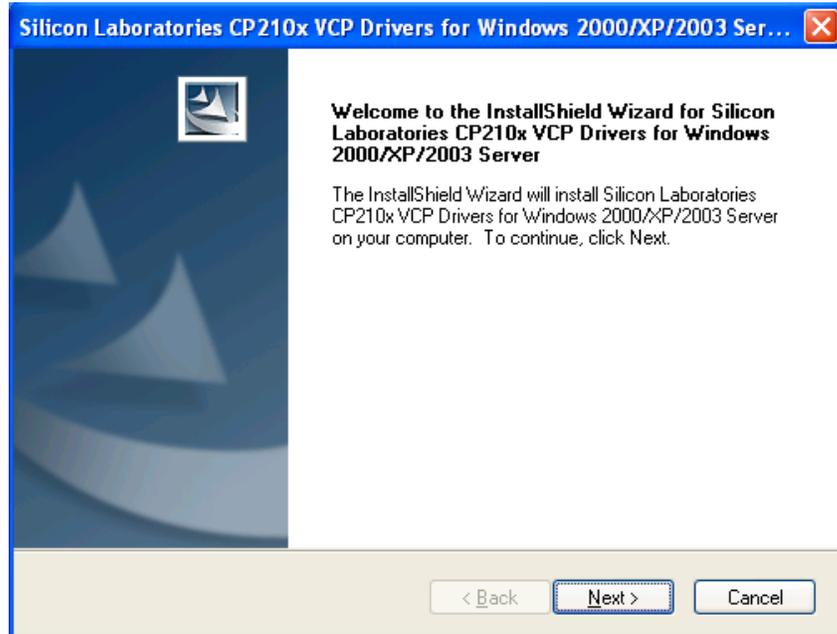
### 1. INSTALACIÓN

A continuación se describirán una serie de pasos para el correcto funcionamiento del Analizador de Calidad de Potencia Eléctrica A.C.P.E v 1.0. Se debe tener en cuenta que el presente documento describe la instalación del software en un ambiente Windows XP.

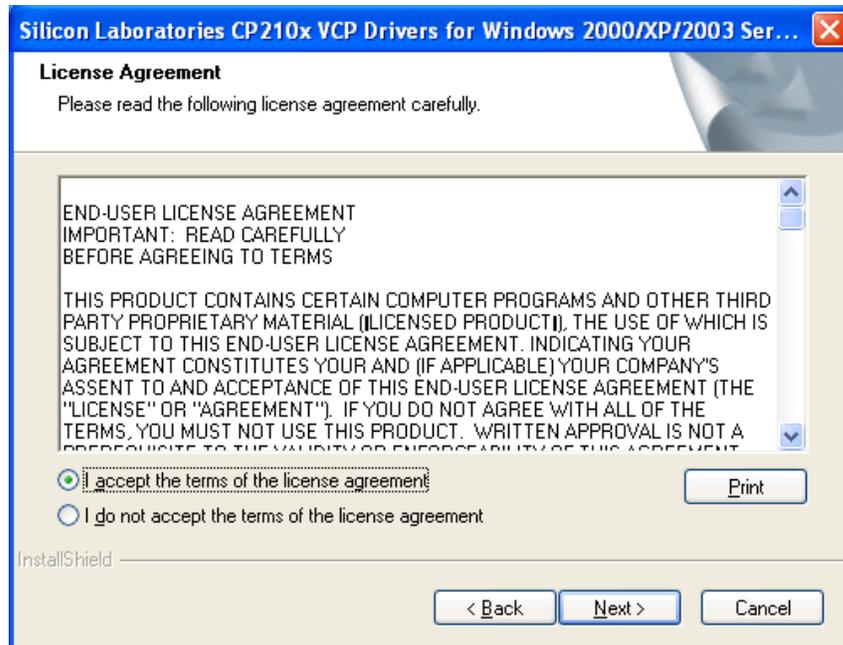
1. Como primer paso cree una carpeta, en su disco duro, de nombre “ACPE” o el nombre de su preferencia, copie y pegue todos los archivos almacenados en el CD de instalación.
2. Sin conectar el Analizador al PC, ejecutar el programa “Driver.exe”



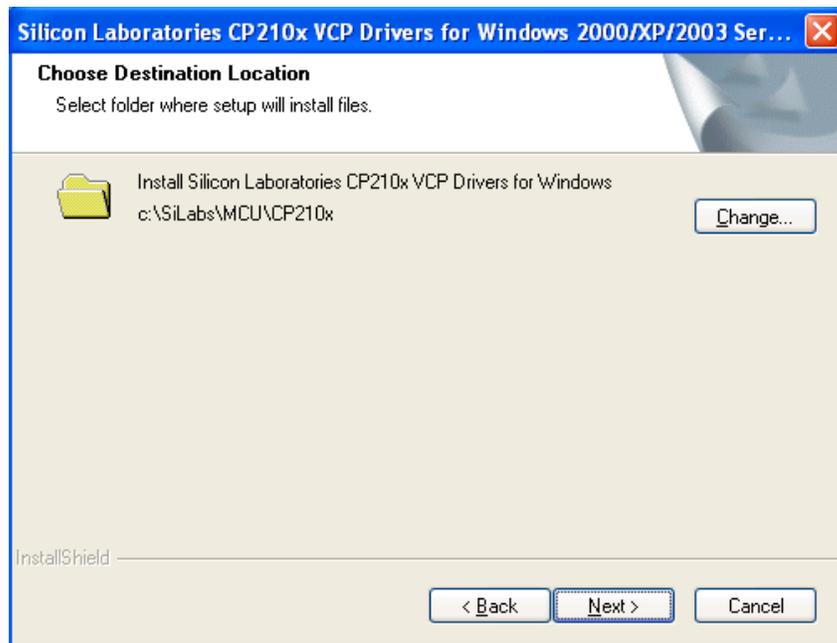
Esperar unos segundos y aparece la siguiente ventana:



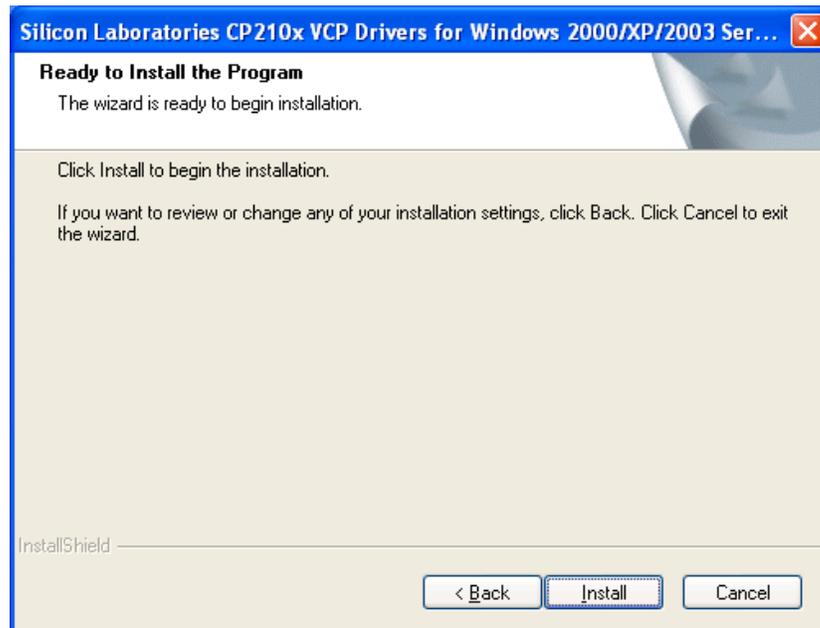
Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:



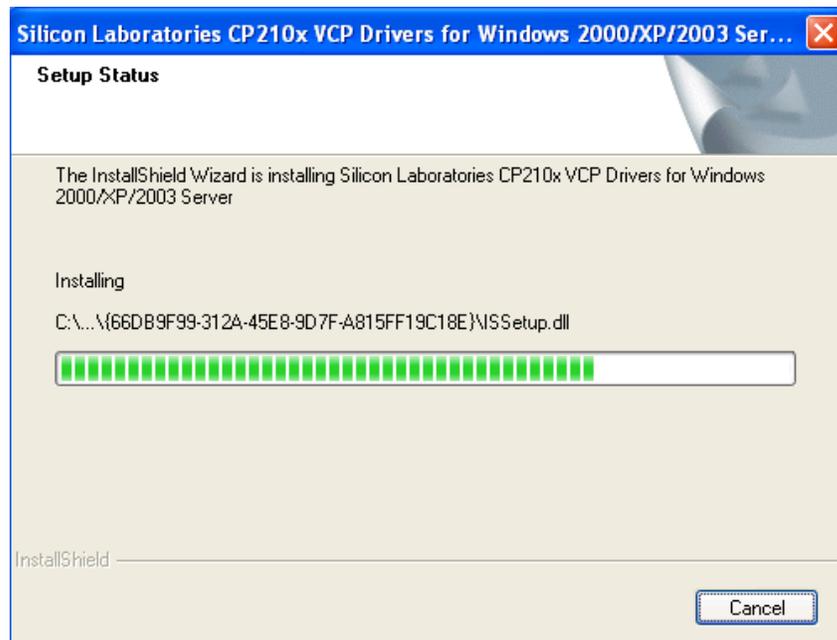
Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:



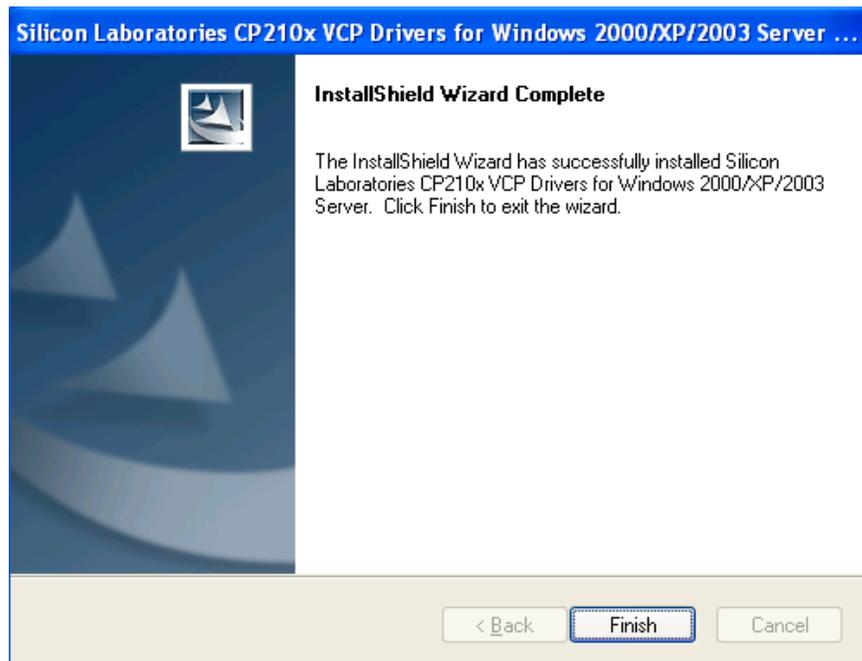
Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:



Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:

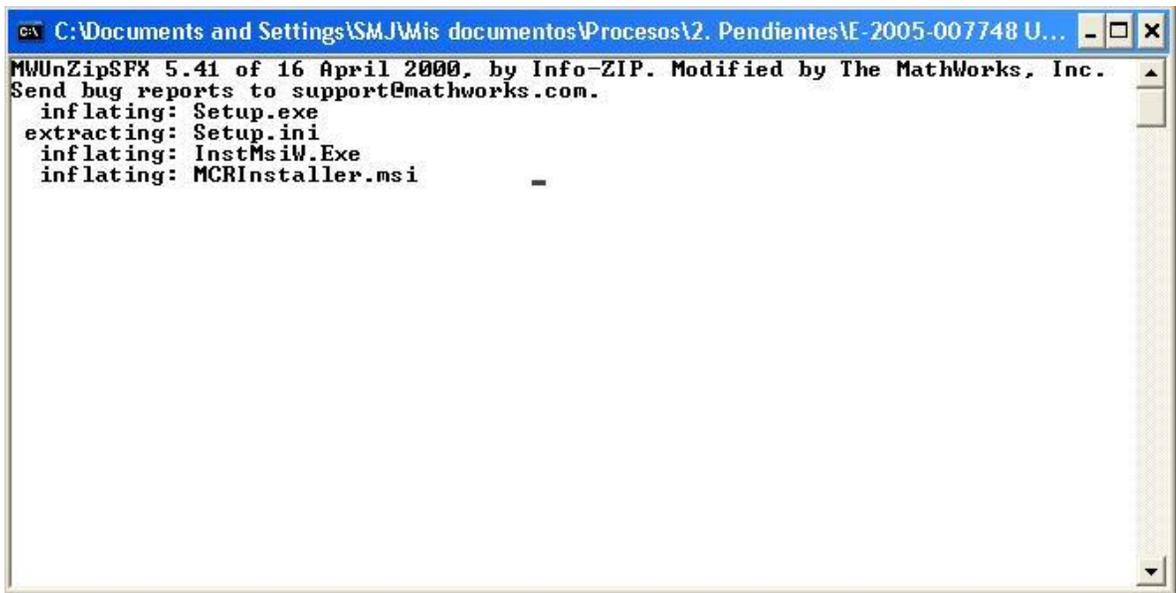


Esperar unos segundos y aparece la siguiente ventana:



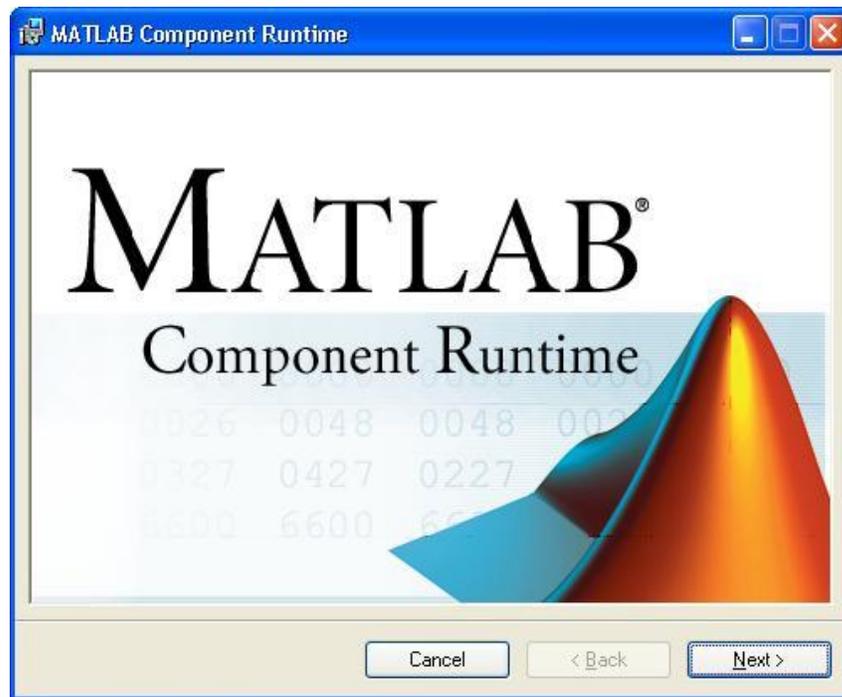
Después de presionar el botón “Finish” finaliza la instalación.

3. Ahora conecte el Analizador a su PC. Aparecerá El wizard de “nuevo hardware encontrado”. Hay que indicar al PC que quiere buscar manualmente que driver escoger. Busque el driver en el directorio en particular donde instalo el software. Quizá su sistema operativo le advierta de que el driver no está verificado. Esto es correcto, dígame “continuar de todas formas”.
4. Su driver ya esta Instalado!
5. Una vez el driver a sido instalado necesitamos saber que puerto ocupa (COM3, COM5, etc.) para decírselo a nuestra Interfaz en Matlab. Haga clic en “Mi PC” con el botón derecho y vaya a propiedades. Dentro de la pestaña “Hardware” encontrará un botón llamado administrador de dispositivos. Clíquelo. En el “administrador de dispositivos”, verá una lista. Baje hasta “Ports(COM&LPT)” y despliéguelo. Entre los puertos presentes verá un “CP210x USB to UART Bridge controller” y entre paréntesis el puerto COM que ocupa. Este es el puerto que deberá abrir desde la aplicación para que se comunice con el Analizador.
6. Ahora ejecutar el programa “MCRInstaller.exe”. Que copió y pegó de su CD de instalación al PC.



```
C:\Documents and Settings\SMJW\is documentos\Procesos\2. Pendientes\IE-2005-007748 U...
MWUnZipSFX 5.41 of 16 April 2000, by Info-ZIP. Modified by The MathWorks, Inc.
Send bug reports to support@mathworks.com.
inflating: Setup.exe
extracting: Setup.ini
inflating: InstMsiW.Exe
inflating: MCRInstaller.msi
```

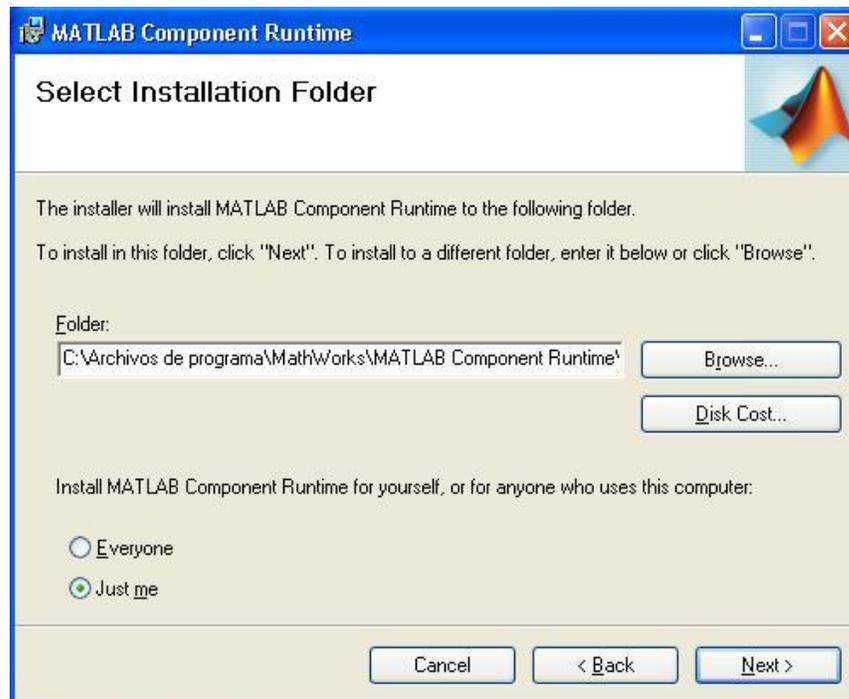
Al culminar esta acción aparece la siguiente ventana:



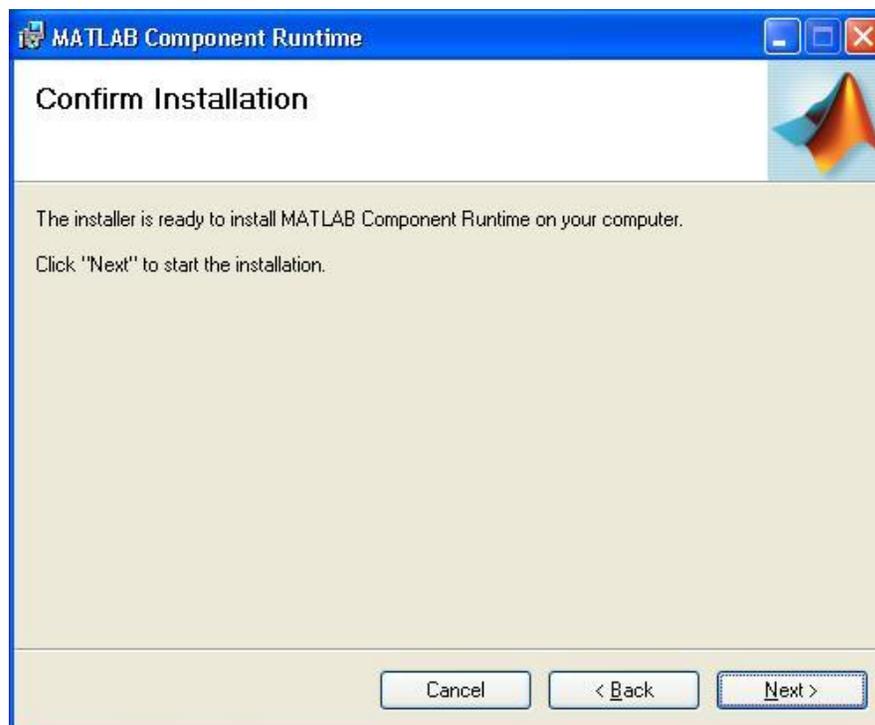
Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:



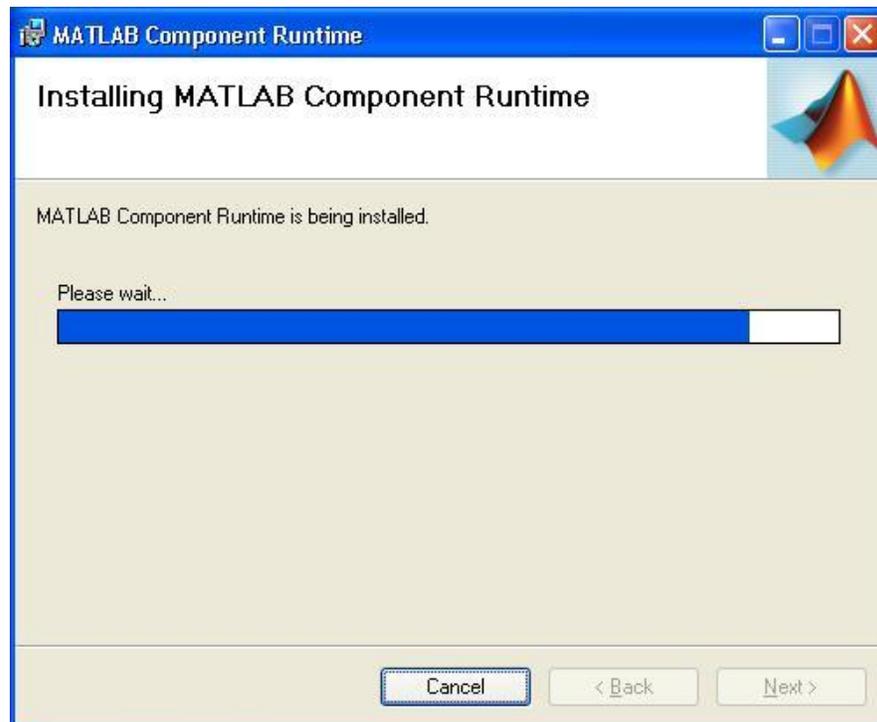
Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:



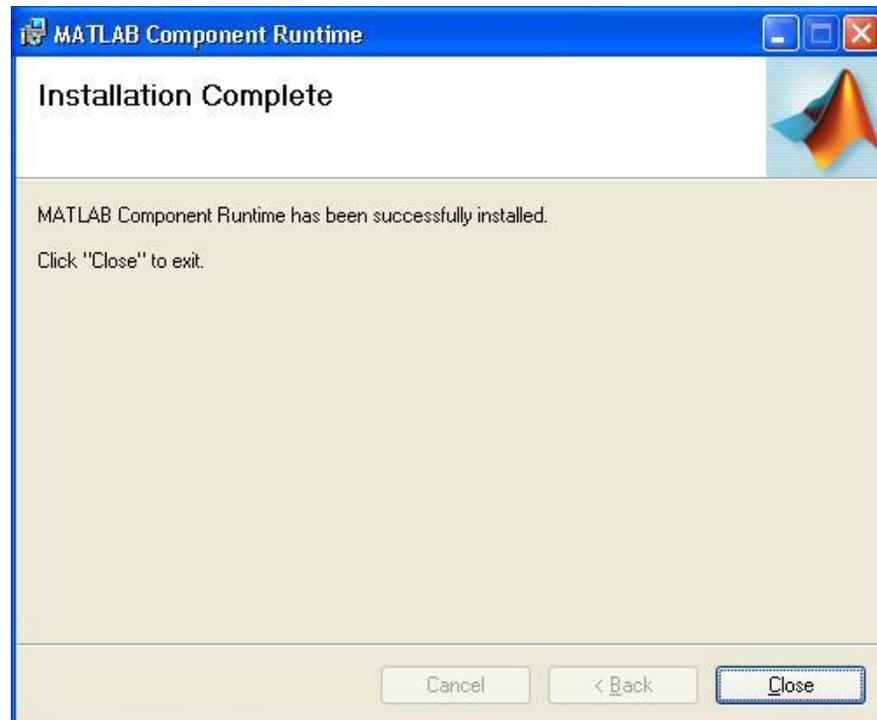
Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:



Después de presionar el botón “Next >” aparece la siguiente ventana:



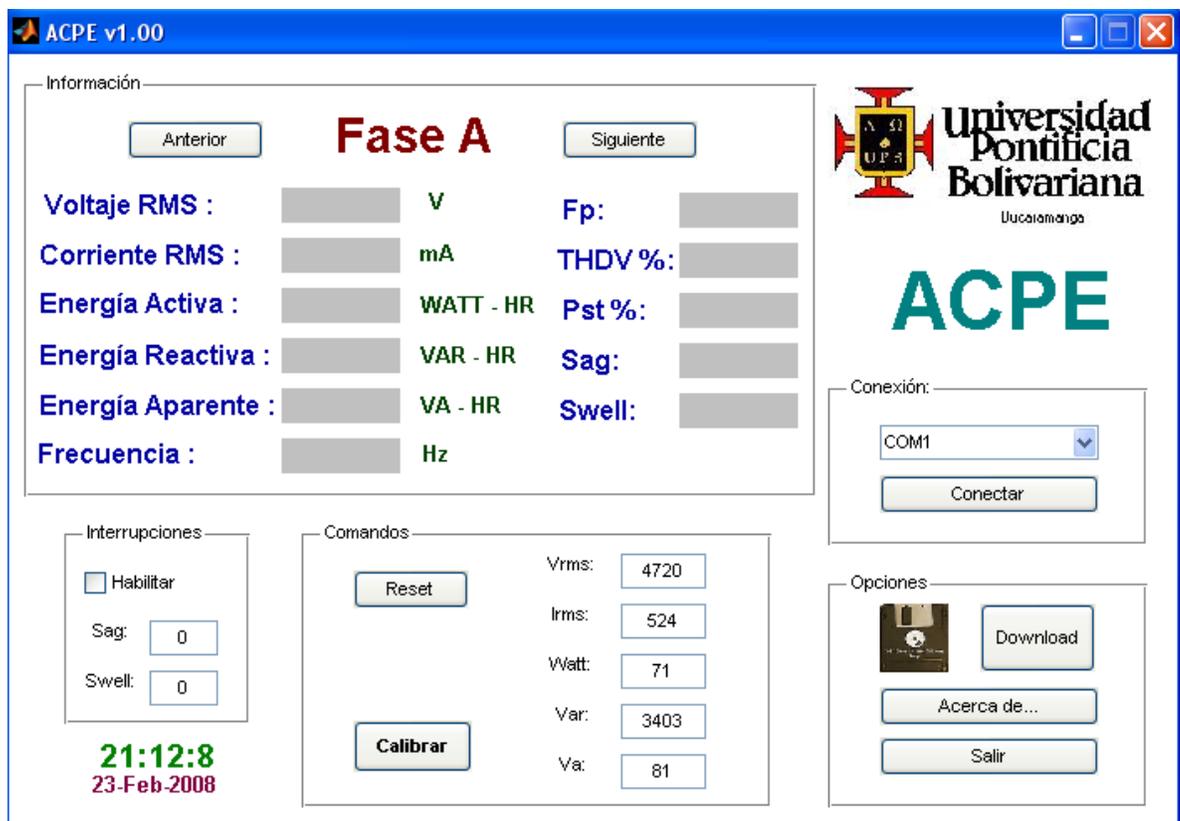
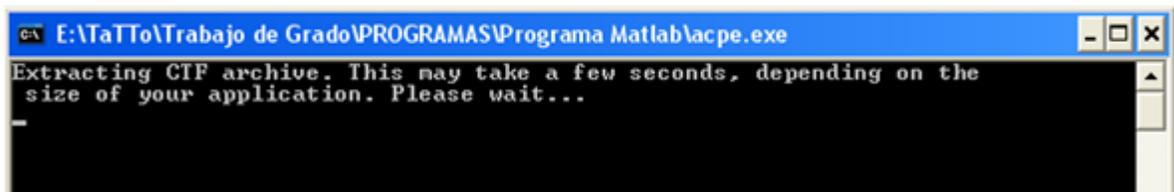
Cuando la barra se llena, aparece la siguiente ventana:



Después de presionar el botón "Close" finaliza la instalación.

- Una vez instalado el driver y comprobado que el Analizador es reconocido por su PC y sabe que puerto ocupa en él y adicionalmente ha instalado el complemento de Matlab, esta listo para ejecutar la aplicación "ACPE".

Al abrir el archivo ACPE.exe, aparecerá la pantalla del DOS y luego el programa.



- El primer paso después de ejecutar la aplicación es realizar la conexión con el COM correspondiente. Seleccionando de la Casilla "Conexión".
- Ahora puede interactuar con la aplicación por medio de los botones de navegación.

## 2. MANEJO DE LA APLICACIÓN

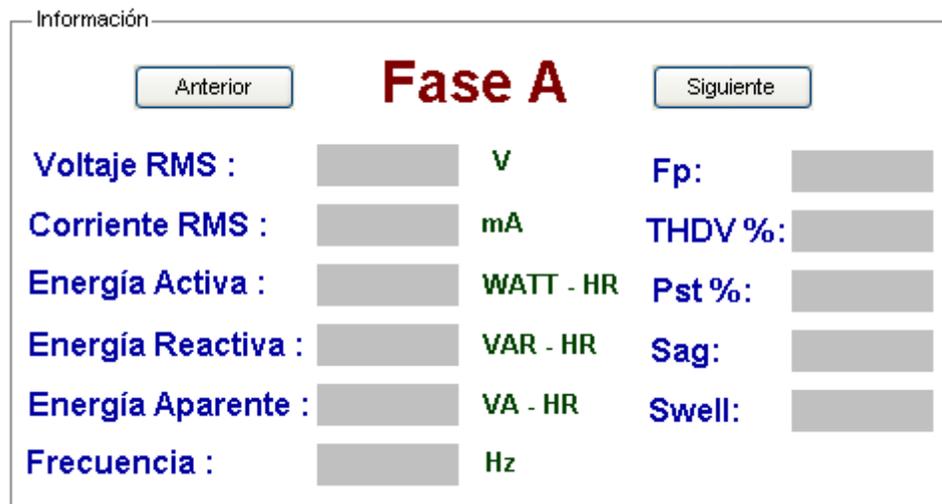
Después de haber instalado correctamente el software esta listo para el manejo de la aplicación. Ahora se describirán las diferentes ventanas de la Interfaz.

### Ventana Conexión:



Aquí se debe seleccionar el puerto donde está conectado el Analizador de calidad de potencia eléctrica A.C.P.E. Seleccionando el COM correspondiente de la lista y dando clic en “conectar”.

### Ventana de Información:



En ella se encuentran los botones  y  que permiten desplazarse a través de las 3 fases. A, B y C. Adicionalmente cuenta con una serie de casillas para visualización de los registros de medida del ADE (Izquierda) y para los indicadores de calidad calculados por Matlab (derecha).

### Ventana Interrupciones:



Interrupciones

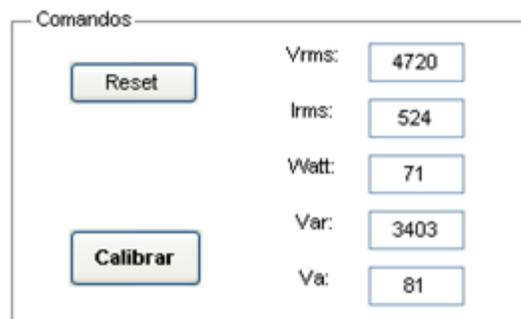
Habilitar

Sag: 0

Swell: 0

Cuenta con una casilla de verificación por si desea habilitar o deshabilitar las interrupciones por SAG y SWELL. En caso tal de querer habilitarlas se deberán introducir los valores 200 para SWELL y 50 para SAG en las casillas correspondientes y a continuación clic sobre “Habilitar”.

### Ventana Comandos:



Comandos

Reset

Calibrar

Vrms: 4720

Irms: 524

Watt: 71

Var: 3403

Va: 81

Esta ventana contara con dos botones el primero  para la re inicialización de los registros visualizados en la ventana de información.

Y un segundo  utilizado para ajustar las constantes introducidas en las casillas a la derecha y poder realizar mediciones más exactas.

## Ventana Opciones:



Dispone de un botón  para la descarga de información almacenada en la EEPROM.

El segundo botón  permite obtener información acerca de la versión del analizador y de los diseñadores del mismo.

Y por ultimo el tercer botón  para finalizar correctamente la aplicación.

Y por ultimo cuenta con una **ventana de hora y fecha** que se sincroniza con la hora y fecha actual de su computadora.

**21:12:8**  
**23-Feb-2008**



Nota: La hora y fecha sincronizada con el PC es la hora que se tendrá en cuenta al descargar el archivo denominado "bitácora acpe".