

PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

(Prototype to Measure the
Total Harmonic Distortion)

David Mauricio Valderrama*, Oscar Hernández **

*Escuela de Ingeniería Electrónica, Uptc-Sogamoso, davidvalderrama_7@hotmail.com

** Escuela de Ingeniería Electrónica, Uptc-Sogamoso, Grupo inv. DSP, maoshgom@hotmail.com

(Recibido Mayo 8 de 2007 y aceptado Noviembre 20 de 2007)

<p>Resumen Muestra el diseño de los circuitos de adquisición de datos y acondicionamiento de las señales de corriente y voltaje de una red monofásica como parte básica de un prototipo para la medición de la Distorsión Armónica Total (THD) de esta; igualmente, se ilustra el diseño del software, programado en Visual C# y Matlab 7.4, para el procesamiento de los datos adquiridos, así como la interfaz gráfica con el usuario.</p>	<p>Abstract It shows the design of data acquisition circuits and conditioning for the current and voltage signals of a monophasic electric network like the basic components of a portable prototype for measurement of Total Harmonic Distortion (THD) in the net, in the same way, it illustrates the design of the software for processing of the acquired data and the Graphic User Interface which is programmed in Visual C# and Matlab 7.4.</p>
<p>Palabras clave: Conversión Análoga-digital, interfaz computador, procesamiento de datos, transformada de fourier, medición variables eléctricas, distorsión armónica.</p>	<p>Key words: Analog-Digital Conversion, Computer Interface, Data Processing, Fourier Transformed, Electric Variables Measurement, Harmonic Distortion.</p>

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores importantes de la medición de la calidad de la energía eléctrica es la Distorsión Armónica Total (THD: Total Harmonic Distorsion) presente en la red, debida en gran parte al alto uso de cargas no lineales que contribuyen a la aparición de armónicos. A nivel mundial existen diversos grupos interesados en desarrollar equipos para la medición de la calidad de la energía; en la Universidad de Tarapacá, Chile, (Borjas, 1999) se desarrolló un equipo para medición de THD y valores RMS de la red eléctrica; también en la Universidad de Minho y en el Instituto Politécnico de Bragança (Afonso, 2007) se construyó un equipo de similares características; como caso particular, en Colombia el Centro Internacional de Física (Scan Power, 2006) desarrolló una serie de equipos ubicados en 30 subestaciones de Cundinamarca.

El propósito del proyecto que aquí se reporta fue la apropiación de tecnología para desarrollar equipos propios, iniciando con un prototipo para la medición de THD en una red monofásica, que a futuro mida otros parámetros, tales como huecos, sobresaltos y flickers, entre otros.

2. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

La Distorsión Armónica Total indica el grado de deformación de una señal de tensión o corriente. El THD es definido como la

relación entre el contenido armónico y la componente fundamental de la señal (1):

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N M_h^2}}{M_1} \quad (1)$$

Donde M_h es el valor rms del armónico h de corriente o voltaje.

Una de las organizaciones que reglamentan el nivel de armónicos en la red es la IEEE, por medio de la norma IEEE 519-1992, que limita entre el 5 y el 20% el porcentaje de distorsión armónica total (IEE519, 1992).

La distorsión se mide en el punto común de acoplamiento (la unión eléctrica entre la compañía y el cliente) desde el cual se puede observar la inyección de armónicos por algún usuario (residencial, comercial e industrial) a la red eléctrica.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

Como se ilustra en la figura 1, el prototipo se divide en cuatro bloques, a través de los cuales se sensan las señales de voltaje y corriente y se acondicionan para obtener niveles estándar de tensión, que son llevados al sistema de adquisición de datos para ser procesados y visualizados por medio de la interfaz gráfica con el usuario.

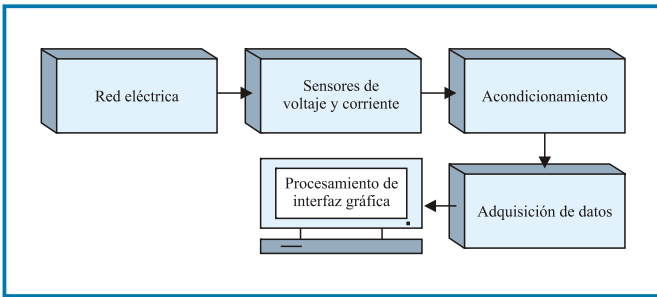


Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo.

3.1 Descripción del hardware

Sensores de corriente y voltaje: en esta sección se usan sensores para detectar las señales de corriente y voltaje, ya que es necesario determinar el THD para cada una. Las condiciones para las señales de entrada son:

- Rango del voltaje: 30 a 120 V o 30 a 220 V
- Rango de la corriente: 100 mA a 1 A o 100 mA a 10 A

Los rangos que maneja el prototipo pueden ser seleccionados por el usuario, de acuerdo con la necesidad de la medición. Un transformador de corriente es usado para medir la corriente consumida por la carga, aislando eléctricamente el prototipo y la carga bajo prueba. La señal de voltaje es sensada por medio de un divisor de tensión de relación 1:849 para el rango de 30 V a 120 V y de 1:1414 para el rango 30 V a 220 V. Un esquema general de los sensores y la forma de realizar la medida se ilustra en la figura 2.

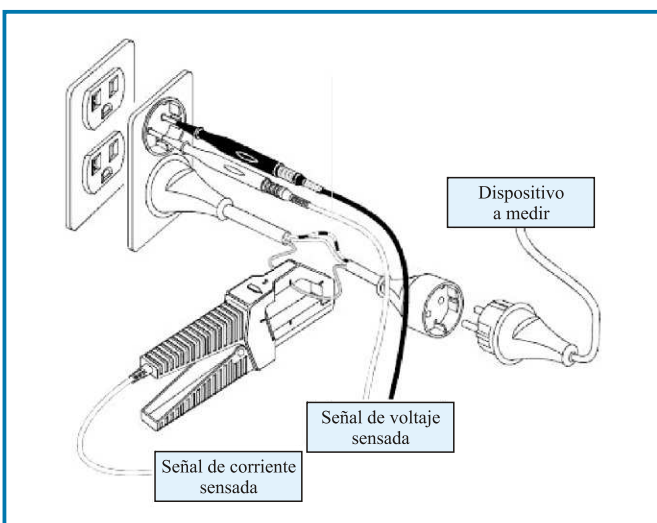


Figura 2. Esquema de sensado de voltaje y corriente.

Acondicionamiento de señales: una vez sensadas las señales, es necesario realizar el acondicionamiento para cada una de ellas, con el fin de obtener una señal de tensión entre 0 y 5 V,

adecuada para la entrada del sistema de adquisición. El diagrama de bloques para el acondicionamiento de las señales se presenta en la figura 3.

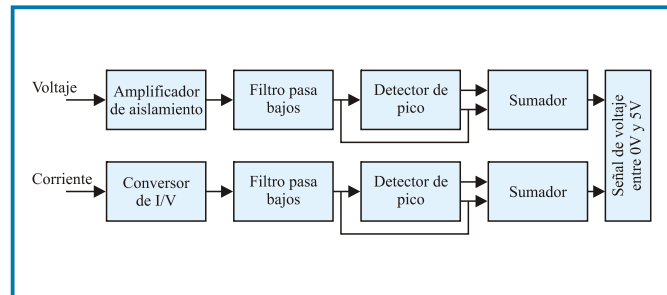


Figura 3. Diagrama de bloques para el acondicionamiento de señal.

La señal de voltaje entra a un amplificador de aislamiento encargado de separar eléctricamente la carga de los circuitos del prototipo; es usado el CI HCPL7800, cuyo esquema de pines se presenta en la fig. 4. Dicho amplificador es polarizado por dos fuentes diferentes, una proviene de la red eléctrica al lado de la carga y la otra es una fuente DC que alimenta los demás circuitos del prototipo.

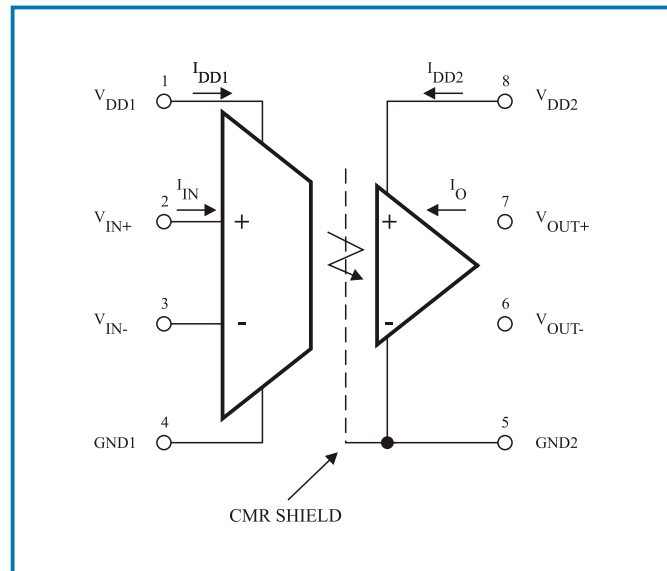


Figura 4. Pines del amplificador de aislamiento HCPL7800.

La señal de corriente (figura 3) pasa a través de un convertor de corriente a voltaje, cuya salida se determina por la ecuación 2.

$$V_o = -50 * I_{sensor} \quad (2)$$

El filtro pasabajos, el detector de pico y el sumador desempeñan la misma función para el acondicionamiento de corriente y voltaje de la siguiente manera:

El filtro pasabajos elimina las componentes de ruido de las señales; está diseñado para trabajar entre 1 Hz y 3 KHz, que corresponde al rango de frecuencias que registra los armónicos en un sistema en condiciones de régimen permanente (Parra, 2003).

Como se requieren señales acondicionadas en un rango entre 0 a 5 V, y hasta el momento se tiene señales AC, es necesario usar un detector de pico para captar la máxima amplitud de la señal (voltaje y corriente) y de acuerdo con este valor generar un nivel DC que será sumado en la última etapa a la señal AC para obtener una señal en el rango deseado.

Adquisición de datos. La adquisición se desarrolla a través de un microcontrolador PIC18F2550 de la marca Microchip; el microcontrolador suministra los sistemas del convertor A/D para la digitalización de los datos y el transceiver del puerto USB para la transmisión de estos. Las características de resolución (10 bits), el número de muestras por segundo (100 KS/s) del convertor y la transmisión USB a full speed son adecuadas para la aplicación requerida. Para que el sistema USB de adquisición sea reconocido por el sistema operativo Windows XP, se creó un driver específico a partir del programa DDK Driver Development Kit, con el cual se generan los archivos para que el prototipo se identifique como un nuevo dispositivo llamado ThdUSB, esto se ilustra en la figura 5.

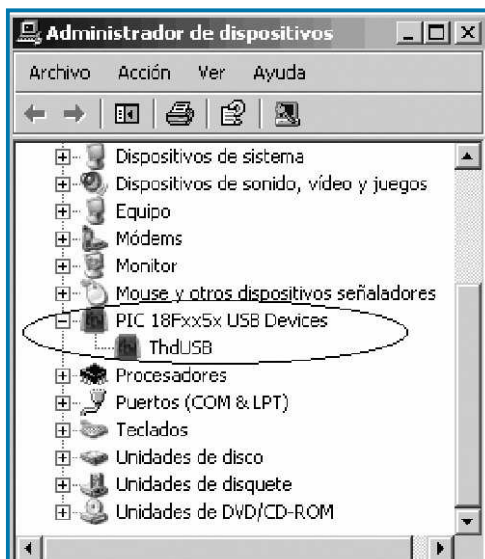


Figura 5. ThdUSB como un nuevo dispositivo del PC.

Los pasos para la programación de la adquisición de datos en el microcontrolador pueden ser resumidos en el diagrama de flujo de la figura 6. Al inicio es necesario configurar registros y variables, luego se procede a preguntar por la conexión del computador hacia el PIC; si hay conexión, el programa continúa, de lo contrario se queda preguntando hasta que el micro sea enganchado. Cuando el microcontrolador es reconocido por el PC, el canal 0 del convertor de analógico a digital es seleccionado para digitalizar la señal de voltaje, la

conversión es almacenada en el vector 0 de buffer (Buffer [0]), lo mismo sucede para el canal 1 del convertor A/D con la señal de corriente que es almacenada en el vector 1 de buffer (Buffer [1]).

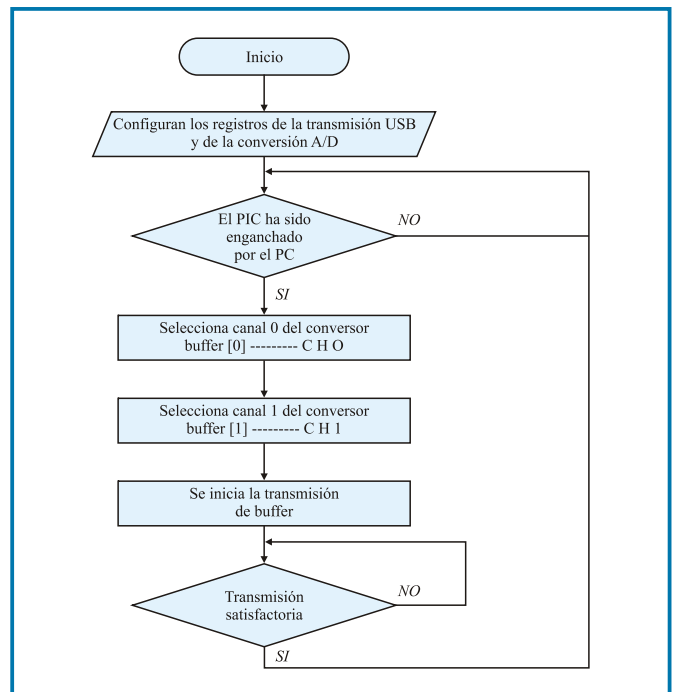


Figura 6. Diagrama de flujo del sistema adquisición.

Los datos almacenados son transmitidos a través del puerto USB al PC. El programa pregunta si la transmisión fue satisfactoria; si fue así, el proceso se inicia de nuevo, de lo contrario, espera hasta que la transmisión sea correcta.

3.2 Circuitos de acondicionamiento de señal

En la figura 7 se muestra parte del circuito de acondicionamiento de señal; presenta el filtro pasabajos de realimentación simple de segundo orden, con frecuencia de corte de 6 kHz. El switch S1 es el encargado de realizar la selección del rango de voltaje o corriente sobre el que se va a realizar la medición. Igualmente se presenta el detector de picos y sumador.

Un oscilograma de la señal de voltaje y corriente medida en una red monofásica, usando como carga la fuente conmutada de un computador, se muestra en la figura 8.; se observa que las señales están acondicionadas en el rango deseado, el voltaje (canal 2) presenta un máximo pico de 3,2 V y la corriente convertida en voltaje tiene un pico (canal 1) 1,9 V.

El diseño de las tarjetas electrónicas utilizadas en el prototipo se realizó con la ayuda del Orcad Layout, que permite ubicar los elementos con una densidad adecuada en la tarjeta. Adicionalmente, las tarjetas presentan apantallamiento para protección contra interferencias electromagnéticas (figura 9).

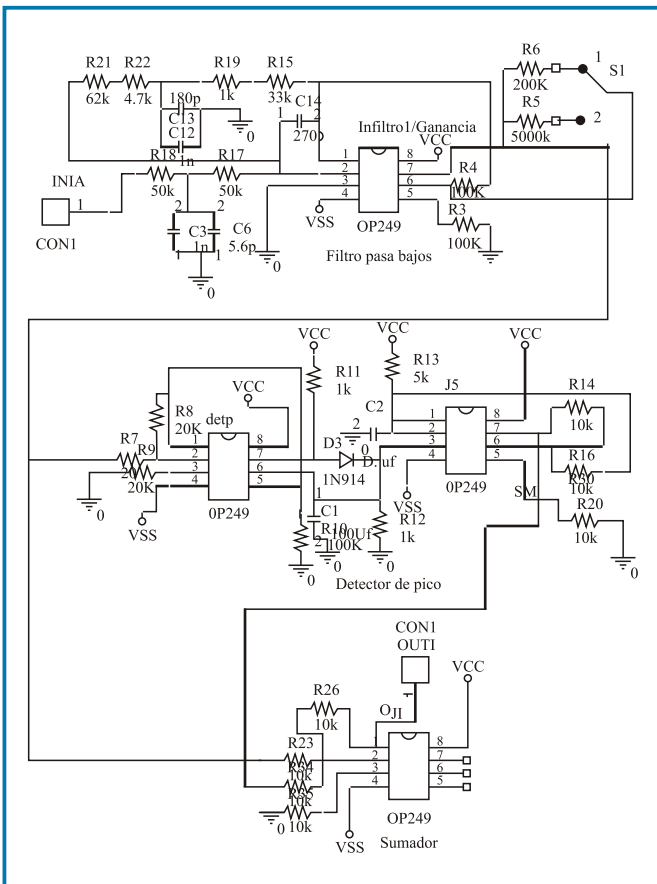


Figura 7. Esquemático para el circuito de acondicionamiento de señal.

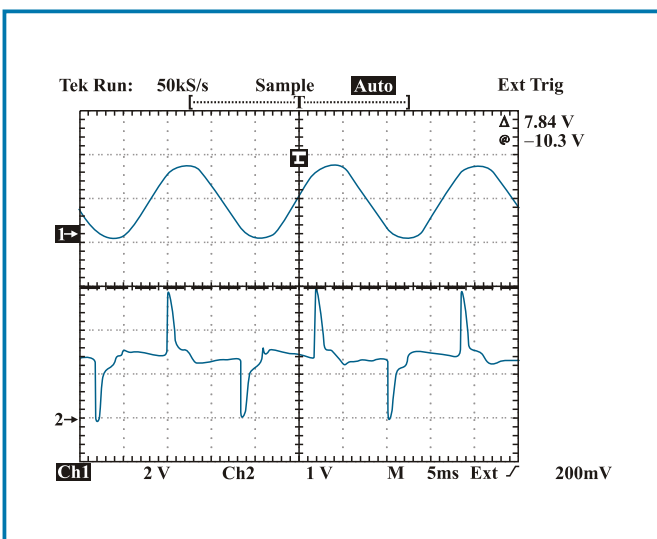


Figura 8. Oscilograma para las señales de salida de la etapa de acondicionamiento.

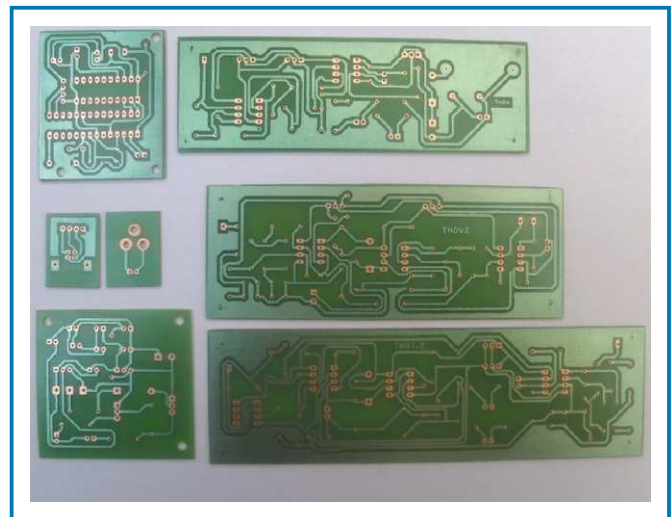


Figura 9. Placas de los circuitos impresos.

3.3 Descripción del software

Se utiliza el software Visual C# debido a que tiene la capacidad de trabajar el puerto USB y de realizar las operaciones requeridas para el procesamiento de los datos. El trabajo inicial del software es capturar los datos de las señales provenientes de la adquisición, para su posterior representación. Una vez las señales son almacenadas, se procesan aplicando la transformada rápida Fourier (FFT: Fast Fourier Transform) (2),

$$X[K] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] * e^{-jk\Omega n} \quad (2)$$

Donde

$$\Omega = \frac{2 * \pi}{N} \quad (3)$$

N es el tamaño del vector, n es la muestra a ser analizada.

El algoritmo de (2) reduce el número de cómputos necesarios para N puntos de 2N2 a 2Nlog2(N). Al realizar este algoritmo se puede conocer la amplitud de los distintos componentes armónicos de las señales de voltaje y corriente para determinar su THD.

La aplicación de la ecuación de la FFT se realizó a través de Matlab 7.4, utilizando la función fft(x), donde x corresponde al vector de datos por procesar. Para lograr la integración entre Matlab y Visual C# se utilizó la herramienta .Net builder, de Matlab, que tiene la función de encapsular el código de Matlab a ser usado en Visual C# y, así mismo, crear la interfaz entre los dos lenguajes.

La interfaz de usuario (figura 10) ilustra, al lado izquierdo, las señales de voltaje y corriente; en el centro, el histograma que indica el contenido armónico de cada señal en el momento en que la medida es realizada; se muestran los primeros 10 armónicos; en la parte derecha están los resultados del THD para la señal analizada, presentando un THDV=4,32% y THDI=11,31%. Esta prueba fue hecha al voltaje y corriente de línea de un motor trifásico.

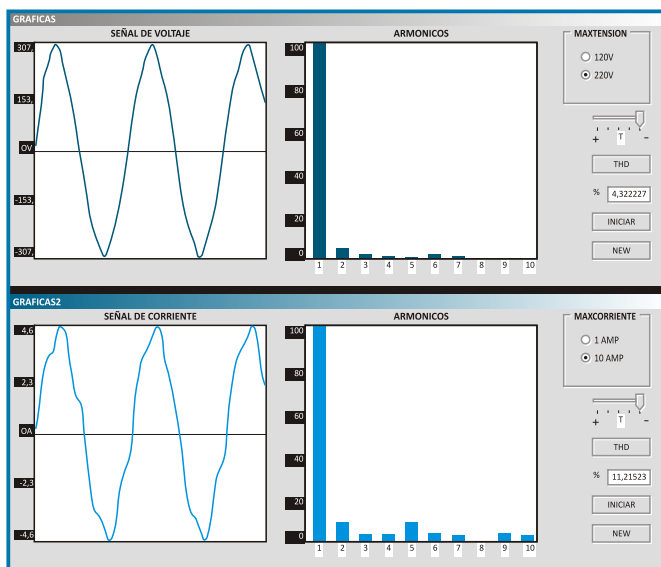


Figura 10. Interfaz gráfica del prototipo.

4. PROYECCIÓN DEL PROTOTIPO

Una versión futura del prototipo incrementará sus funciones para entregar un mejor desempeño; entre otras, las principales mejoras serán:

- Capacidad de tomar medidas en redes industriales trifásicas.
- Mostrar otros parámetros importantes como lo son fluctuaciones, huecos, altas de tensión y el factor de potencia.
- Aumentar la capacidad del sistema para la adquisición de datos y para controlar desde la interfaz gráfica las funciones de selección de rangos de las señales de entrada, control de

encendido y apagado del prototipo, el sistema para cargar las baterías y los indicadores de las funciones anteriores, para realizar todo el control del prototipo desde el PC.

5. CONCLUSIONES

El trabajo da como resultado el desarrollo de un prototipo para la medición de la Distorsión Armónica Total en una red eléctrica monofásica, el cual contiene un conjunto de utilidades, tales como: un sistema de alimentación recargable e independiente de la red, un sistema de adquisición de datos a través del puerto USB para la tensión y corriente de entrada en el rango de 110 V a 220 V y 1 Amp a 10 Amp respectivamente, así como una interfaz gráfica con el usuario que le permite visualizar las formas de onda temporales y la distorsión armónica de estas.

La tecnología Net proporciona una forma rápida, sencilla y potente de integrar los servicios de Matlab en otras aplicaciones, como en C#, y así construir entornos de trabajo fuertemente integrados.

La confrontación de los resultados obtenidos por el prototipo con los de los trabajos “Medidores de inducción monofásicos” y “Armónicos: Caracterización y modelamiento de cargas monofásicas no lineales”, muestra que el THD de voltaje en el prototipo es próximo al valor entregado por los trabajos mencionados, mientras que el THD de corriente presenta mayor variación respecto del valor esperado.

6. REFERENCIAS

- Afonso, L., Batista J, Sepúlveda L., Martins J. (2007). Sistema digital de bajo costo para la monitorización de la calidad de la energía.
- Borjas, R. y Quispe N. (1999). Instrumentación virtual para el sistema de medición y análisis de la red eléctrica. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Tarapacá, Chile.
- Centro Internacional Física. (2006). Sistema de monitoreo de la calidad de la energía “Scan Power”.
- IEEE 519-1992 standard, “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”.
- Marder, F. (2004). Medidor de energía activa controlada por microcontrolador.
- Parra, E. (2003). Análisis de armónicos en sistemas de distribución. Universidad Nacional de Colombia.