

**CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA INDUSTRIAL**

**DIVISIÓN DE MECANICA**

**DIVISIÓN DE ELECTRICIDAD**

**PLANTEL COLOMOS**

**REPORTE TECNICO**

**PROTOTIPO DE DESARROLLO TECNOLOGICO:**

**“MEDIDOR DIGITAL MONOFÁSICO**

**DE FACTOR DE POTENCIA”**

**LUIS FERNANDO LAPHAM CARDENAS**

**PROFESOR DE TIEMPO COMPLETO**

**ALUMNOS PARCIPANTES:**

**VALENCIA LUNA AYAX**

**VÁZQUEZ RAMÍREZ MANUEL ALEJANDRO**

## **I.- INTRODUCCIÓN.**

El presente proyecto surge de la necesidad cotidiana en la industria de manufactura de obtener el valor del factor de potencia de una máquina o de una instalación eléctrica, de manera confiable y con una muy alta precisión, aprovechando la tecnología electrónica digital moderna. Como se verá a lo largo de este trabajo, se sabe que un factor de potencia alto (cercano a la unidad) aumenta dramáticamente la eficiencia de las máquinas o instalaciones referidas, y para controlar dicho parámetro eléctrico, primero deberemos medirlo para poderlo conocer oportunamente.

Por otro lado, la electrónica digital ha presentado avances espectaculares en los últimos años. Dichos logros se basan en la miniaturización de los dispositivos y al aumento en la potencia de procesamiento de la información, en conjunto con la implementación de la memoria FLASH en el interior de los equipos (Gadgets) que los utilizan. Además, el costo de dichos dispositivos, conocidos como microcontroladores, han disminuido consistentemente, casi en caída libre. Actualmente, un microcontrolador de 8 bits con 2 Kbytes de memoria FLASH, y muchas funciones más, no cuesta mas de 12 pesos (RS08AK2 de Freescale).

Entonces, es muy atractivo para el estudiante de la carrera de Tecnólogo en Electrotecnia el implementar soluciones para reemplazar controles electromecánicos o instrumentos de medición analógicos, por instrumentos electrónicos digitales basados en estos dispositivos electrónicos modernos.

Precisamente, el objetivo del "Medidor monofásico de Factor de Potencia" tiene por objetivo el sustituir los viejos Cofímetros, los cuales son voluminosos, pesados y frágiles,

por instrumentos, portátiles, de bajo consumo y costo, de alta exactitud y precisión, que puedan almacenar el historial de mediciones, etc.

## II.- GENERALIDADES.

### FACTOR DE POTENCIA.

Se define factor de potencia (F.P.) de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa,  $P$ , y la potencia aparente,  $S$ , o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como  $\cos \phi$ , siendo  $\phi$  el valor de dicho ángulo. De acuerdo con el triángulo de potencias de la figura 1:

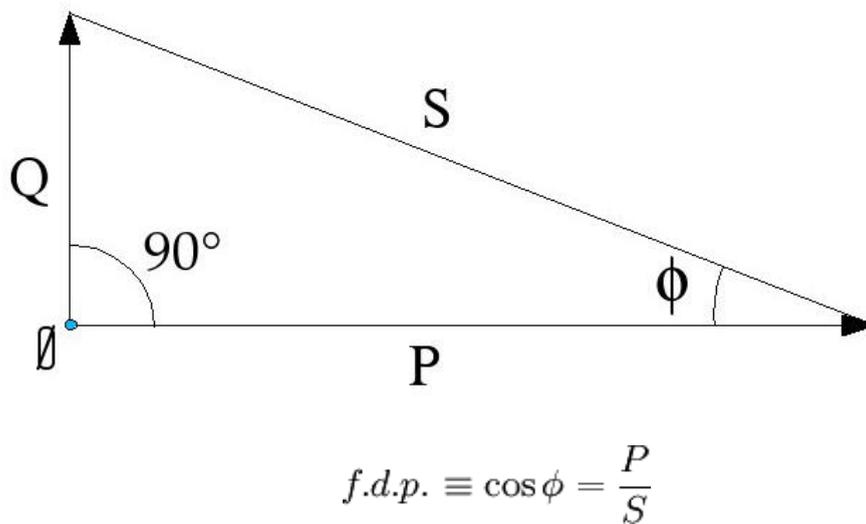


Figura 1. Triángulo de potencias de una máquina eléctrica.

Su valor depende de las características del propio circuito, y es un parámetro importante en instalaciones con una importante demanda de potencia eléctrica. De acuerdo con su definición, el factor de potencia es adimensional y solamente puede tomar valores entre 0 y 1. En un circuito resistivo puro recorrido por una corriente alterna, la intensidad y la tensión están en fase ( $\phi = 0$ ), esto es, cambian de polaridad en el mismo

instante en cada ciclo, siendo por lo tanto el factor de potencia la unidad. Por otro lado, en un circuito reactivo puro, la intensidad y la tensión están en cuadratura ( $\phi = 90^\circ$ ) siendo nulo el valor del F.P.

En la práctica los circuitos no pueden ser puramente resistivos ni reactivos, observándose desfases, más o menos significativos, entre las formas de onda de la corriente y el voltaje. Así, si el F.P. está cercano a la unidad, se dirá que es un circuito fuertemente resistivo por lo que su F.P. es alto, mientras que si está cercano a cero que es fuertemente reactivo y su F.P. es bajo. Cuando el circuito sea de carácter inductivo, caso más común, se hablará de un F.P. en retraso, mientras que se dice en adelanto cuando lo es de carácter capacitivo.

Potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente

La potencia activa (P), medida en watts (W), representa la capacidad del circuito para realizar un trabajo en un tiempo dado. Debido a los elementos reactivos de la carga, la potencia aparente (S), medida en voltamperes (VA), producto de la tensión por la intensidad, será igual o mayor que la potencia activa. La potencia reactiva (Q), medida en voltamperes reactivos (VAR), es una medida de la energía almacenada que es reflejada hacia la fuente durante cada ciclo de la corriente alterna.

El factor de potencia puede ser expresado como:

$$\frac{P}{S}$$

En el caso de una onda perfectamente senoidal, P, Q y S pueden ser expresadas como vectores que forman un triángulo vectorial tal que:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Si  $\phi$  es el ángulo de fase entre la corriente y la tensión, el factor de potencia es igual a  $|\cos \phi|$ , y :

$$P = S |\cos \phi|$$

Por definición, el factor de potencia es un número adimensional comprendido entre 0 y 1. Cuando el factor de potencia es igual a 0, la energía que fluye es enteramente reactiva y la energía almacenada en las cargas retorna a la fuente en cada ciclo. Cuando el factor de potencia es igual a 1, toda la energía suministrada por la fuente es consumida por la carga. Los factores de potencia son expresados normalmente como "adelanto" o "retraso", para indicar el signo del ángulo de fase.

El factor de potencia viene determinado por el tipo de cargas conectadas al suministro eléctrico. Éstas pueden ser de naturaleza:

- ?? Resistiva
- ?? Inductiva
- ?? Capacitiva

Si se conecta una carga puramente resistiva a una fuente de suministro eléctrico, la corriente y el voltaje cambiarán de polaridad en fase, el factor de potencia será 1 y la energía eléctrica fluirá en una sola dirección a través de la red en cada ciclo.

Las cargas inductivas, tales como transformadores, motores de inducción y, en general, cualquier tipo de inductancia (tal como las que acompañan a las lámparas fluorescentes) generan potencia reactiva con la intensidad retrasada respecto a la tensión.

Las cargas capacitivas, tales como bancos de condensadores o cables enterrados, generan potencia reactiva con la intensidad adelantada respecto a la tensión. Ambos

tipos de cargas absorberán energía durante parte del ciclo de corriente alterna y solamente devolverán energía a la fuente durante el resto del ciclo. Por ejemplo, para conseguir 1 kW de potencia activa, si el factor de potencia es la unidad se necesitará transferir 1 kVA de potencia aparente ( $1\text{kVA} = 1\text{kW} \times 1$ ).

Con valores bajos del factor de potencia será necesario transferir más potencia aparente para conseguir la misma potencia activa. Así, para conseguir 1 kW de potencia activa con un factor de potencia igual a 0,2 será necesario transferir 5 kVA de potencia aparente ( $1\text{kW} = 5\text{kVA} \times 0.2$ ).

A menudo es posible ajustar el factor de potencia de un sistema a un valor muy próximo a la unidad. Esta práctica es conocida como corrección del factor de potencia y se realiza mediante la conexión a través de conmutadores, en general automáticos, de bancos de condensadores o de inductores. Por ejemplo, el efecto inductivo de las cargas de motores puede ser corregido localmente mediante la conexión de condensadores. En determinadas ocasiones pueden instalarse motores síncronos con los que se puede inyectar potencia capacitiva o reactiva con tan solo variar la corriente de excitación del motor.

Las pérdidas de energía en las líneas de transporte de energía eléctrica aumentan con el incremento de la intensidad. Cuando una carga tiene un factor de potencia menor que 1, se requiere más corriente para conseguir la misma cantidad de energía útil. Por tanto, las compañías suministradoras de electricidad, para conseguir una mayor eficiencia de su red, requieren que los usuarios, especialmente aquellos que utilizan grandes potencias, mantengan los factores de potencia de sus respectivas cargas dentro de límites especificados, estando sujetos, de lo contrario, a pagos adicionales por energía reactiva.

La corrección del factor de potencia debe ser realizada de una forma cuidadosa con objeto de mantenerlo lo más alto posible, pero sin llegar nunca a la unidad, ya que en este caso se produce el fenómeno de la resonancia que puede dar lugar a la aparición de tensiones o intensidades peligrosas para la red. Es por ello que en los casos de grandes variaciones en la composición de la carga es preferible que la corrección se realice por medios automáticos.

En los circuitos que tienen solamente corrientes y voltajes sinusoidales, el efecto del factor de potencia se presenta solamente como la diferencia en fase entre la corriente y el voltaje. Esto es menos conocido como "factor de potencia de desplazamiento". El concepto se puede generalizar a una distorsión total, o a un verdadero factor de potencia donde la potencia aparente incluye todos los componentes armónicos. Esto es de importancia en los sistemas de energía prácticos que contienen cargas no lineales tales como rectificadores, algunas formas de iluminación eléctrica, hornos de arco voltaico, equipos de soldadura y otros dispositivos.

Un ejemplo particularmente importante son los millones de computadores personales que típicamente incorporan fuentes de alimentación conmutadas con salidas cuyo rango de potencia va desde 150W hasta 500W. Históricamente, éstas fuentes de alimentación de muy bajo costo incorporan un simple rectificador de onda completa que conduce sólo cuando el voltaje instantáneo excede el voltaje de los capacitores de entrada. Esto conduce a razones muy altas entre las corrientes pico y promedio, lo que también lleva a una distorsión en el factor de potencia y a consideraciones posiblemente serias acerca de la fase y la carga neutral.

Agencias de regulación tales como la EC (en Estados Unidos) han establecido límites en los armónicos como un método de mejorar el factor de potencia. Disminuir el

costo de los componentes ha acelerado la aceptación e implementación de dos métodos diferentes. Normalmente, esto se hace ya sea agregando un inductor en serie (llamado PFC pasivo) o con la adición de un convertidor elevador que fuerza a una onda sinusoidal (llamado PFC activo). Por ejemplo, los SMPS con PFC pasivos pueden lograr un factor de potencia de 0.7...0.75, los SMPS con PFC activo -- hasta 0.99, mientras que los SMPS sin ninguna corrección del factor de potencia tienen valores alrededor de 0.55..0.65 solamente. Para cumplir con el estándar de corriente de los Estados Unidos EN61000-3-2 todas las fuentes conmutadas con potencia de salida mayor de 75W tienen que incluir como mínimo un PFC pasivo.

## **MINED 12**

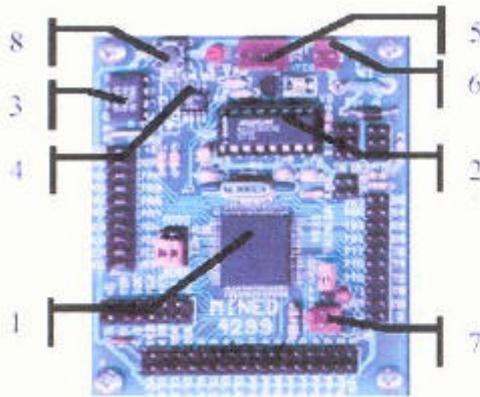
El microcontrolador industrial y educativo (MINED) es un sistema microcomputador ideado para el control dedicado, que puede utilizarse para control secuencial o en tiempo real, medición, procesos distribuidos, robótica, etc. Este sistema se basa en el microcontrolador 68HC12 de Motorola.

EL HC12 es un poderoso Microcontrolador, programable en lenguaje ensamblador, cuenta con un interfase de comunicación serial asíncrona (SCI), interfase periférica serial (SPI). Este Chip es el primero en incluir las tecnologías: EEPROM y FLASH EEPROM en el mismo dispositivo. Sus características distintivas son:

- ?? **16 Bit** CPU 12
- ?? **20 Bit** ALU
- ?? Conjunto de instrucciones de **Lógica Difusa**
- ?? **32 KByte** Flash EEPROM (20 Disponibles)
- ?? **768 Byte** Memoria EEPROM
- ?? **ADC** 8 canales, 8 bits de resolución

?? **Timer** 8 canales (Cada canal puede ser configurado como comparador de entrada/salida, ó modulador de ancho de pulso

?? **Compatibilidad** con conjunto de instrucciones del HC11

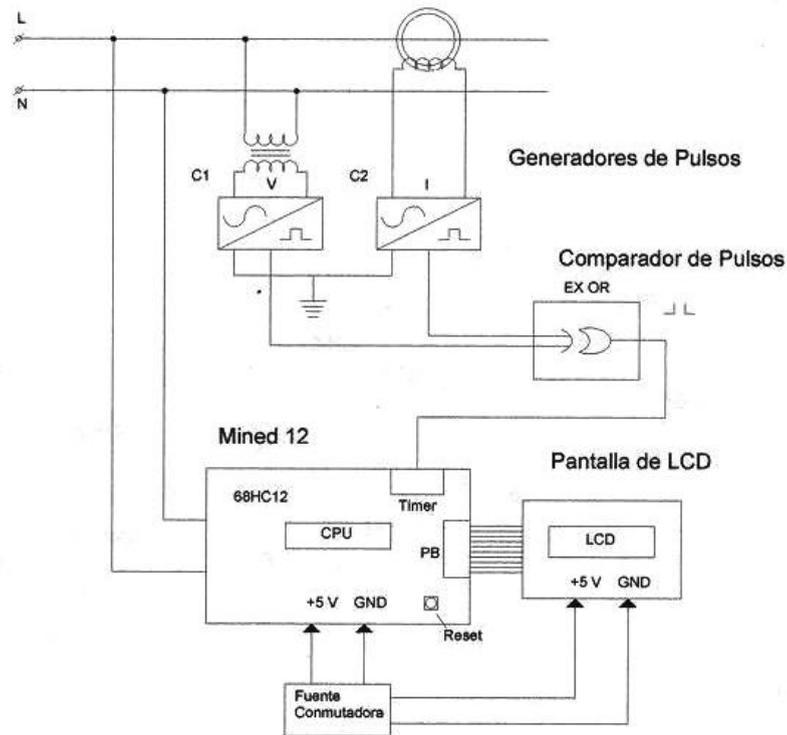


- 1.- U1 Microcontrolador 68HC912B32
- 2.- U2 Transmisor/Receptor RS-232
- 3.- U3 Reloj de Tiempo Real (RTC)
- 4.- U4 Micro monitor.
- 5.- Conector puerto serial.
- 6.- Conector Fuente de alimentación 5V.
- 7.- Conector Fuente de alimentación 12V.  
(Exclusivamente para la programación de memoria Flash).
- 8.- SW de Reset

**4) Diagrama del Microcontrolador Mined 12.**

### III.- DISEÑO DEL SISTEMA.

Tomando como base lo tratado en el apartado anterior, se pensó en un sistema electrónico que tuviera los bloques siguientes:



**Figura 2. Diagrama a bloques del sistema trifásico de arranque y paro.**

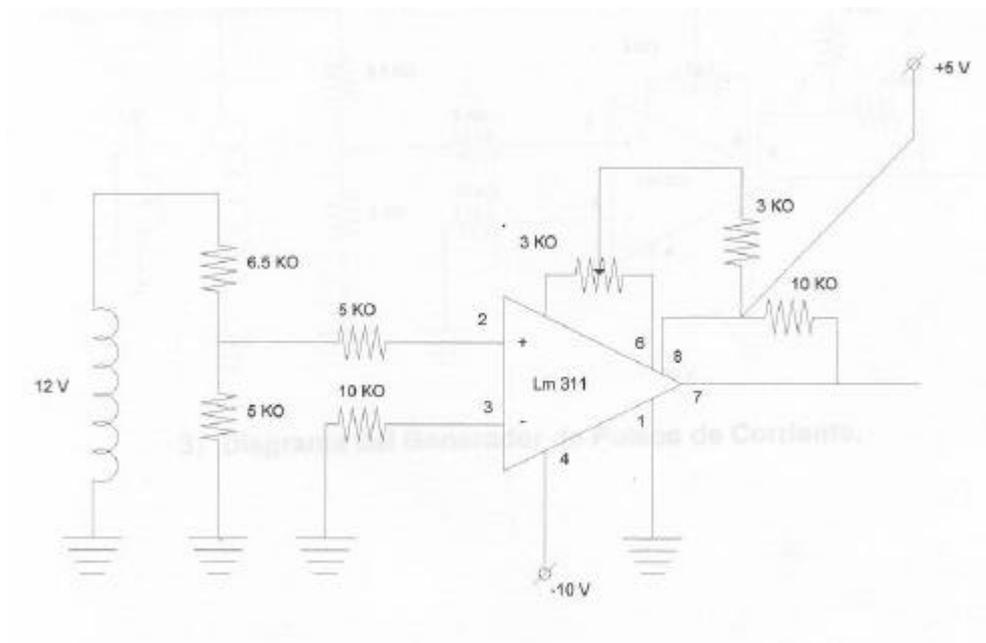
El sistema toma de la línea de corriente alterna tanto la fase de la tensión eléctrica como de la intensidad, por medio de dos transformadores de medición: uno reductor de tensión y otro mediante un gancho toroidal. Dichas fases se transforman a onda cuadrada a través de circuitos electrónicos comparadores de voltaje. Una vez que se tienen las dos señales cuadradas, cada una con la fase correspondiente a la tensión y la intensidad de la línea, se envían a un circuito digital que obtiene la diferencia (en tiempo) de ambas señales, proporcionando un pulso de un ancho proporcional a la magnitud de la diferencia o desfase de dichas señales.

El pulso generado variará su ancho dependiendo del desfase entre el voltaje y la corriente en la máquina o instalación eléctrica bajo prueba. A mayor desfase

el pulso será más ancho y, por tanto el factor F.P. será menor. Si el desfase disminuye, el pulso será menos ancho y el F.P. aumentará. Por tanto, el F.P. será inversamente proporcional al ancho del pulso generado por el sistema.

Luego, el pulso mencionado entra al microcontrolador 68HC12, vía tu temporizador (Timer) para ser cuantificado. Entonces es que el microcontrolador iniciará el procesamiento de dicha información para entregar a la pantalla de cristal líquido (LCD) el valor del Factor de Potencia correspondiente. En el apéndice 1 se muestra el programa, en lenguaje ensamblador correspondiente a esta aplicación.

En la figura 3 se ilustra el diagrama resultante del circuito generador de los pulsos de tensión.



**Figura 3. Generador de pulsos correspondientes a la fase de tensión.**

En la figura 4 se ilustra el diagrama resultante del circuito generador de los pulsos correspondientes a la fase de la intensidad de la corriente.

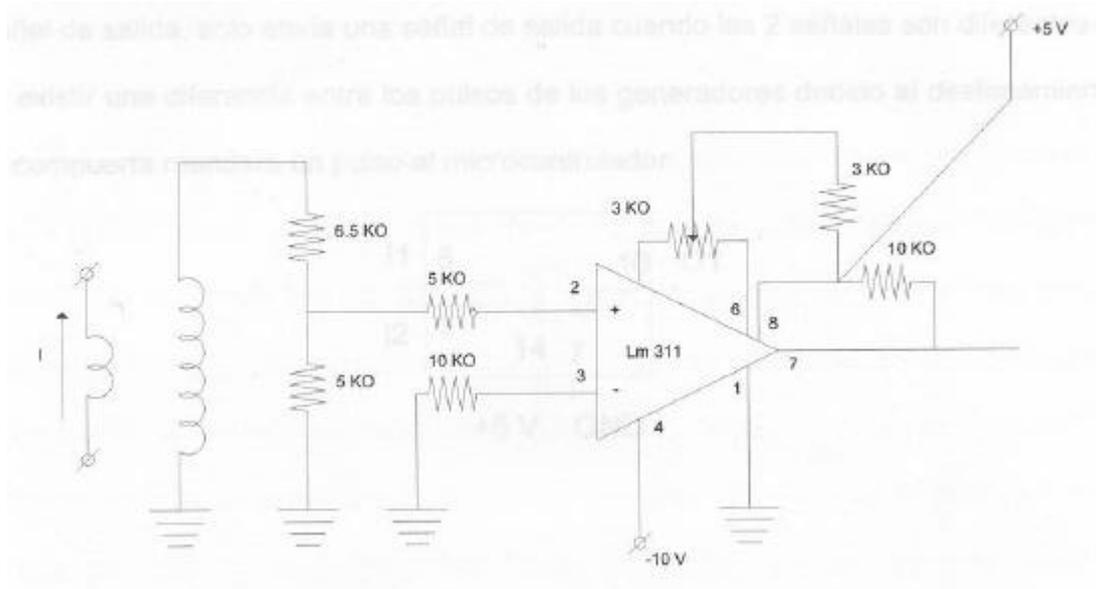


Figura 4. Generador de pulsos correspondientes a la fase de corriente.

#### IV.- DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO.

Una vez experimentado el circuito en tablilla de experimentación, ajustando algunos valores de componentes, principalmente los valores de los resistores, se procedió a diseñar el circuito impreso del prototipo, utilizando para ello software especializado

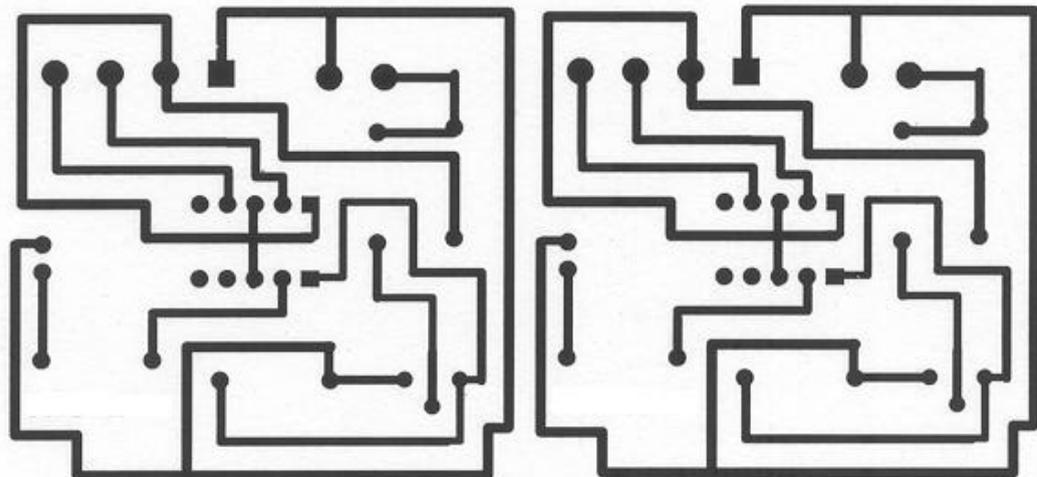


Figura 5. Circuito impreso del medidor de Factor de Potencia.

## V.- EXPERIMENTACIÓN Y PRUEBAS FINALES.

A continuación se muestran los resultados de la experimentación del Medidor digital monofásico de Factor de Potencia, así mismo se contrastan con los datos del diseño previo.

- ?? Rango de medición: 0.00 a 1.00 (el F.P. no tiene unidades)
- ?? Resolución: centésimas de unidad
- ?? Exactitud: 99%
- ?? Precisión: 100%
- ?? Indicación con signo (+ para adelanto y – para atraso) del tipo de desfaseamiento.

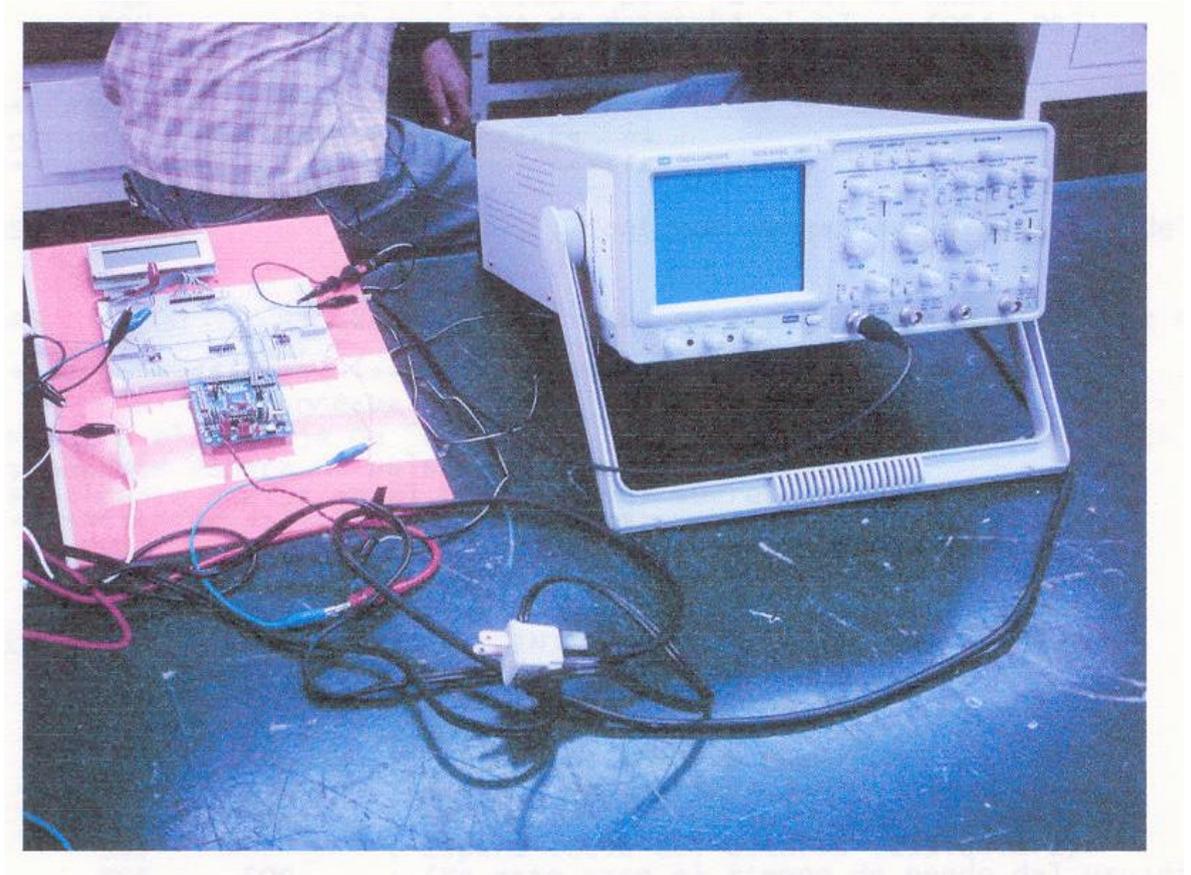


Figura . Experimentación del medidor de Factor de Potencia.

## **VI.- INSTRUCCIONES DE USO.**

El uso de este prototipo es muy simple, pues basta conectar la punta de tensión a la maquina o instalación eléctrica bajo prueba y colocar el gancho de medición de corriente al cable de alimentación correspondiente. Luego, se encenderá el medidor aplicando el botón de RESET para realizar la medición esperada, que aparecerá en la pantalla de cristal líquido (LCD) del sistema. Si se requiere otra medición solo deberá presionar nuevamente el botón ya referido.

Se deberá tener precaución con las puntas que toman las muestras de voltaje e intensidad de corriente, para no sufrir una descarga eléctrica peligrosa al usuario.

## **VII.- CONCLUSIONES.**

El diseño y construcción del prototipo denominado "Medidor digital monofásico de Factor de Potencia" ha sido sumamente enriquecedor para los alumnos participantes, y para el facilitador en particular, pues se pusieron en practica muchas de los conocimientos y habilidades que todo Tecnólogo con orientación afín a la electricidad y electrónica deben de dominar. Entre otros, se pusieron en practica los aspectos siguientes: Conceptos de mediciones eléctricas, elaboración de circuitos impresos, elaboración de circuitos impresos, actitudes de disciplina, perseverancia y calidad en la elaboración de su proyecto hasta finalizarlo con éxito (valor agregado del Tecnólogo de CETI, planeación, seguimiento y cierre de un proyecto de desarrollo tecnológico, uso de equipo electrónico de medición.

El prototipo operó de la manera esperada, sin necesidad de ajustes mayores en su implementación, cumpliendo satisfactoriamente su función de medición del factor de

potencia. Por tanto, esperamos que este **prototipo didáctico** sirva para demostrar una de las principales aplicaciones de la electrónica digital y la electrometría. Esperamos, finalmente, que con la elaboración de estos prototipos se motive al alumnado del CETI a que continúe con esta importante labor, mejorando semestre a semestre la calidad y complejidad de los prototipos, y que siga siendo en nuestros alumnos su mejor carta de presentación en el momento de su inserción en la vida laboral.

Se espera en una siguiente etapa del proyecto, diseñar el medidor de Factor de Potencia, pero para una instalación o equipo trifásico industrial.

## **VII.- BIBLIOGRAFÍA.**

1. RASHID M.H. **ELECTRÓNICA DE POTENCIA: CIRCUITOS, DISPOSITIVOS Y APLICACIONES.** PEARSON EDUCACIÓN. MÉXICO/2ª EDICIÓN/. 1997. 702 PÁGS.
2. PÉREZ MIGUEL A., ÁLVAREZ JUAN C., CAMPO JUAN C., FERRERO FCO. JAVIER, GRILLO GUSTAVO J.. **INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA.** 2004.. EDITORIAL THOMSON. ISBN: 84-9732-166-9
3. SAVANT, RODEN, CARPENTER: **"DISEÑO ELECTRÓNICO. CIRCUITOS Y SISTEMAS"**. EDITORIAL. ADDISON-WESLEY. 1992. MÉXICO.
4. BARRÓN RICARDO. **MANUAL SM12, MODULO DE CONTROL.** FORMATO PDF. MÉXICO. 2003.