

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA: ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES



PROYECTO DE APLICACIÓN:
“SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONSUMO
COMPARTIDO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DOMICILIARIA ”

Postulante: Leonardo Favio Marca Conde

La Paz- Bolivia
NOVIEMBRE – 2016

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a mis padres; quienes siempre me brindan su apoyo incondicional, me comprenden, me escuchan y me guían pacientemente; quienes gozan conmigo en mis triunfos, y se entristecen con mis fracasos; quienes me cuidaron y educaron desde niño para ser hombre de bien. Con quienes siempre podré contar.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a los docentes: Ing. Roger Guachalla, Ing. Ramiro Velarde, Lic Edwin Alave, por haberme orientado y apoyado en todo el trayecto de la realización del presente proyecto brindándome nuevas ideas y compartiendo sus conocimientos

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| INDICE DE CONTENIDO | I |
| RESUMEN | IV |
| CAPÍTULO I | V |
| 1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO..... | V |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | V |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DE OBJETIVOS | VI |
| 1.2.1. OBJETIVO PRINCIPAL | VI |
| 1.2.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS..... | VI |
| 1.3. JUSTIFICACION | VII |
| 1.3.1. JUSTIFICACION TECNOLÓGICA..... | VII |
| 1.3.2. JUSTIFICACION SOCIAL | VII |
| 1.3.3. JUSTIFICACION ACADEMICA | VII |
| 1.4. DELIMITACIONES..... | VIII |
| 1.4.1. DELIMITACION TEMPORAL..... | VIII |
| 1.4.2. DELIMITACION TEMÁTICA..... | VIII |
| 1.5. METODOLOGÍA..... | IX |
| CAPITULO II | 1 |
| 2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL..... | 1 |
| 2.1. Medición de consumo de potencia eléctrica..... | 1 |
| 2.1.1. Definición de energía eléctrica..... | 1 |
| 2.1.2. Definición de potencia eléctrica | 1 |
| 2.1.3. Potencia en corriente continua | 2 |
| 2.1.4. Potencia en corriente alterna | 3 |
| 2.1.5. Tipos de potencia y factor de potencia..... | 5 |
| 2.1.5.1. Potencia activa..... | 6 |
| 2.1.5.2. Potencia reactiva | 9 |
| 2.1.5.3. Potencia aparente..... | 9 |
| 2.1.6. Reducción del factor de potencia | 9 |
| 2.2. medidores de consumo de energía eléctrica..... | 10 |
| 2.2.1. Antecedentes | 10 |
| 2.2.2. Concepto de Medidor de energía eléctrica..... | 10 |
| 2.2.3. Clasificación..... | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.2.3.1. Medidores de energía analógicos..... | 11 |
| 2.2.3.1.1. Estructura..... | 12 |
| 2.2.3.1.2. Características Principales..... | 14 |
| 2.2.3.2. Medidores de energía digitales | 15 |
| 2.2.3.2.1. Características principales:..... | 15 |
| 2.2.3.2.2. Especificaciones técnicas | 15 |
| CAPITULO III..... | 17 |
| 3. INGENIERÍA DEL PROYECTO..... | 17 |
| 3.1. Fundamento teórico específico..... | 17 |
| 3.1.1. Formas de detección de corriente y voltaje AC | 17 |
| 3.1.1.1. Medición de corriente por resistencia Shunt..... | 17 |
| 3.1.1.2. Medición de corriente por Bobina de Rogowski | 19 |
| 3.1.1.3. Medición de corriente por sensor de efecto Hall | 21 |
| 3.1.1.4. Transformador de corriente CT | 22 |
| 3.1.2. Cálculo de valor eficaz de una señal con un microcontrolador | 24 |
| 3.2. Diseño del circuito..... | 28 |
| 3.2.1. Circuito de obtención y amplificación de señales eléctricas | 28 |
| 3.2.2. Programa de control de consumo de energía..... | 30 |
| 3.3. Implementación del circuito..... | 35 |
| CAPÍTULO IV..... | 36 |
| 4. COSTOS..... | 36 |
| 4.1. Costos fijos..... | 36 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 37 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 38 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N° 1Eejmplo de consumo de potencia en corriente continua | 2 |
| Figura N° 2 Desfase de señales de corriente y voltaje en alterna | 4 |
| Figura N° 3 Triángulo de potencia en alterna..... | 5 |
| Figura N° 4 Desfase ocasionado por circuitos R, L, C puros..... | 7 |
| Figura N° 5 Corrección del factor de potencia con condensadores en paralelo..... | 10 |
| Figura N° 6 Medidor de energía eléctrica analógico | 11 |
| Figura N° 7 Estructura interna de un medidor tipo inducción. | 12 |
| Figura N° 8Partes de un medidor de energía analógico. | 13 |
| Figura N° 9Medidor de energía digital | 16 |
| Figura N° 10 Voltaje equivalente en Bobina de Rogowski | 19 |

| | |
|--|----|
| Figura N° 11 Forma correcta de obtención de señal eléctrica con Bobina de Rogowski | 20 |
| Figura N° 12 Circuito equivalente de sensor en base a Bobina de Rogowski | 21 |
| Figura N° 13 Diagrama de sensor de corriente por efecto Hall | 22 |
| Figura N° 14 Sensor de corriente SCT013 | 23 |
| Figura N° 15 Forma de realizar la medición con sensor de corriente SCT013..... | 24 |
| Figura N° 16 Señal senoidal con valor eficaz señalado | 25 |
| Figura N° 17 Muestreando una señal senoidal | 27 |
| Figura N° 18 Diagrama en bloques de circuito de consumo de energía eléctrica .. | 29 |
| Figura N° 19 Circuito propuesto para la medición de consumo de energía eléctrica | 30 |
| Figura N° 20 Funcionamiento de circuito de medición de consumo de energía | 35 |

RESUMEN

En el siguiente proyecto, se realizará la explicación detallada del diseño de un sistema de control de consumo de energía eléctrica; con la particularidad que podrá realizar una medición separada para tres compartimentos; lo cual será ventajoso si se instala en lugares donde se comparte un solo medidor de energía eléctrica entre varias personas, y no se está seguro si se paga la cantidad justa de dinero por potencia consumida.

Previamente se dará una explicación teórica al respecto de cómo se realiza la medición de potencia eléctrica y consumo; así como de ciertos componentes que se utilizarán en el diseño del circuito, y la forma correcta de poder calcular el consumo de energía eléctrica, y su equivalente en bolivianos.

Aprovechando dicha teoría, se implementará un hardware que básicamente logre realizar mediciones de corriente y voltaje alterno, de esta manera poder obtener un equivalente de potencia consumida en determinado instante. Posteriormente se utilizará un programa compilador para el microcontrolador PIC 16F877A para poder realizar un programa que sea capaz de utilizar la potencia obtenida previamente para poder multiplicarla por el tiempo de consumo de energía eléctrica, y así mostrar en una pantalla Display LCD, la cantidad de potencia consumida en un determinado tiempo, pero en tres lugares de manera simultánea. Además el programa compilado, también será capaz de mostrar en el Display LCD el porcentaje total consumido por cada uno de los usuarios, para de esa manera tener el precio real que cada uno debe pagar por consumo de electricidad. Finalmente se explicará cómo implementar el mismo en cada uno de los hogares, para que de esa manera, las personas puedan controlar el consumo de energía eléctrica.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la mayoría de las casas y edificios alojan a más de una familia, debido a la economía escasa, trabajo o estudio temporal, u otras circunstancias. La mayoría de los inmuebles, donde ocurren este tipo de situaciones, no están equipados para poder realizar una tarificación separada en cuanto a servicios básicos, pues involucraría un gasto adicional un poco elevado que los dueños de dichos inmuebles no estarían dispuestos a realizar.

De este modo, si por ejemplo un universitario soltero comparte alojamiento con una familia, es obvio que la familia consumirá más recursos básicos, pero una vez emitida la factura de algún servicio; no se tomará en cuenta este detalle, y solo se promediará el total consumido para que ambos paguen a mitad del total.

Esto ha causado muchos problemas, sobre todo en edificios donde se comparte el alojamiento entre varios usuarios, y uno de ellos consume más que el resto, llegando a discusiones, deudas y desalojo.

Un problema con el que se cuenta actualmente en Bolivia, es el de tener el mal hábito de hacer gastos innecesarios, sobre todo con nuestros recursos. Así pues, por ejemplo, en la mayoría de los hogares bolivianos, no se hace un buen aprovechamiento ni de la energía eléctrica, ni del agua potable. Y por ese mal hábito, por ejemplo se suele dejar luces encendidas, aparatos enchufados y funcionando toda la noche, haciendo de ese modo un “derroche de energía”.

El mal uso de la energía eléctrica, ya se ha vuelto en problema a nivel mundial, pues este es una causa del calentamiento global, y para combatir este problema, muchas empresas, organizaciones, y autoridades hacen una serie de propagandas, y proyectos. Lamentablemente en Bolivia, hay muy poca información al respecto de este tema, por tanto las personas mantienen encendidos sus electrodomésticos innecesariamente.

1.2. PLANTEAMIENTO DE OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Diseñar un circuito capaz de medir el consumo de energía eléctrica de tres lugares en forma simultánea, que indique el porcentaje consumido de cada lugar; para implementarlo en las empresas y/o hogares de la ciudad de La Paz.

1.2.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Crear un dispositivo que cumpla con las características de un medidor de luz ordinario, en base a componentes electrónicos pasivos, para obtener señales eléctricas de distinta amplitud, dependiendo del consumo de energía en cada lugar
- Implementar un programa en Basic capaz de interpretar una señal eléctrica, de cierto valor en un resultado visible y entendible, mostrando el mismo en una pantalla o Display LCD.
- Mostrar porcentajes de consumo de energía de tres sectores diferentes con un solo circuito de control, para controlar costos de consumo energético

1.3. JUSTIFICACION

1.3.1. JUSTIFICACION TECNOLÓGICA

El presente proyecto se justifica porque en él se hace uso del PIC 16F877A, un microcontrolador conocido, pero a su vez muy utilizado debido a su variedad de funciones, además, el presente proyecto tendrá salida de Display LCD, lo cual lo hace muy cómodo de visualizar al momento de su implementación.

1.3.2. JUSTIFICACION SOCIAL

Tendrá un gran impacto en la sociedad, este proyecto tiene una gran ventaja en el mercado, pues gracias a este la sociedad podrá controlar el consumo de energía eléctrica en lugares compartidos, y por ende controlar el consumo de dinero que implica el mismo. Dicha ventaja hace que el proyecto sea de un gran interés social, pues se solventa en parte el gran problema que tiene la sociedad boliviana, “el uso innecesario de energía eléctrica y los costos que ocasiona el mismo”

1.3.3. JUSTIFICACION ACADEMICA

Se hizo uso de los conocimientos que se adquirió en todo este tiempo que se estuvo en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, sobretodo en el Área Digital. Este proyecto pues, se basa en los conocimientos adquiridos sobre: compuertas digitales, codificación, programación en Mikro Basic PRO for PIC.

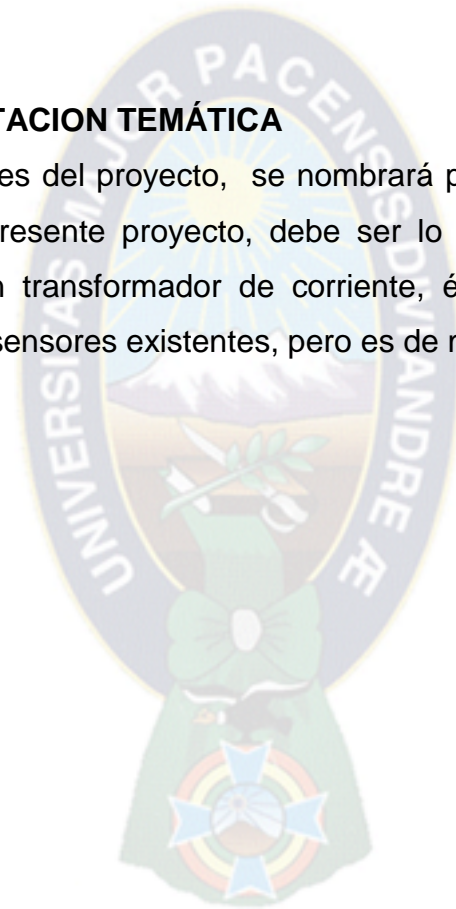
1.4. DELIMITACIONES

1.4.1. DELIMITACION TEMPORAL

Si es que se planea implementar el circuito en toda una zona, o en una empresa y una vez teniendo los datos exactos del número de viviendas, y tomando en cuenta que el proyecto empezará de cero, el diseño y fabricación de los mismos será de dos meses aproximadamente. La implementación es sumamente rápida, por lo que sólo tardaría un día.

1.4.2. DELIMITACION TEMÁTICA

En cuanto a los límites del proyecto, se nombrará primordialmente al sensor de corriente. Como el presente proyecto, debe ser lo más económico posible, se optará por utilizar un transformador de corriente, éste no es muy preciso, en comparación a otros sensores existentes, pero es de más fácil adquisición.

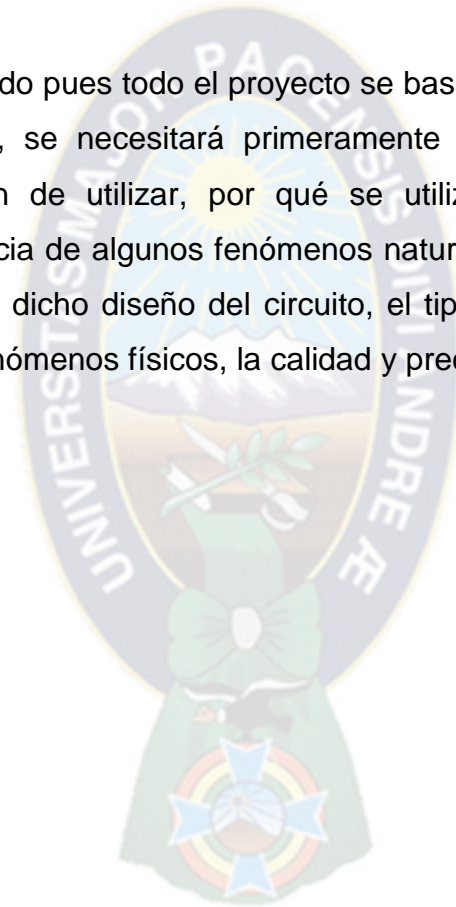


1.5. METODOLOGÍA

TECNOLÓGICO, ENFOQUE SISTÉMICO Y APLICATIVO

El método que se utilizará en el presente proyecto es el **METODO DE INVESTIGACION EXPLICATIVO**, un método que busca encontrar las razones o causas que ocasionan ciertos fenómenos. Su objetivo es explicar el por qué sucede dicho fenómeno. Los estudios de este tipo implican esfuerzos del investigador y una gran capacidad de análisis, síntesis e interpretación.

Se utilizará este método pues todo el proyecto se basa en el diseño de un circuito; y para dicho diseño, se necesitará primeramente entender y explicar el que componentes se han de utilizar, por qué se utilizarán dichos componentes. Además de la influencia de algunos fenómenos naturales con el problema que se quiere solucionar con dicho diseño del circuito, el tipo de sensor que se utilizará para captar dichos fenómenos físicos, la calidad y precisión de los sensores, etc.



CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Medición de consumo de potencia eléctrica

2.1.1. Definición de energía eléctrica

Cuando conectamos un equipo o consumidor eléctrico a un circuito alimentado por una fuente de fuerza electromotriz (F.E.M), como puede ser una batería, la energía eléctrica que suministra fluye por el conductor, permitiendo que, por ejemplo, una bombilla de alumbrado, transforme esa energía en luz y calor, o un motor pueda mover una maquinaria.

De acuerdo con la definición de la física, “la energía ni se crea ni se destruye, se transforma”. En el caso de la energía eléctrica esa transformación se manifiesta en la obtención de luz, calor, frío, movimiento (en un motor), o en otro trabajo útil que realice cualquier dispositivo conectado a un circuito eléctrico cerrado.

La energía utilizada para realizar un trabajo cualquiera, se mide en “joule” y se representa con la letra “J”.

2.1.2. Definición de potencia eléctrica

Potencia es la velocidad a la que se consume la energía. Si la energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene. La potencia se mide en joule por segundo (**J/seg**) y se representa con la letra “**P**”.

Un **J/seg** equivale a **1 watt (W)**, por tanto, cuando se consume 1 joule de potencia en un segundo, estamos gastando o consumiendo 1 watt de energía eléctrica.

La unidad de medida de la potencia eléctrica “**P**” es el “**watt**”, y se representa con la letra “**W**”.

2.1.3. Potencia en corriente continua

La corriente continua es la que tienen las pilas, las baterías y los dinamos. Todo lo que se conecte a estos generadores serán receptores de corriente continua.

Para calcular la potencia en c.c. (corriente continua) se hace mediante la fórmula:

$$P = V \times I = \text{Tensión} \times \text{Intensidad.}$$

Cuando la tensión se pone en Voltios (V) y la Intensidad en Amperios (A), la potencia nos dará en vatios (w).

Si por ejemplo se quiere calcular la potencia de un timbre que trabaja a una tensión de 12V y por el que circula una intensidad de 2mA

2mA (miliamperios) son 2/1000 Amperios, es decir 0,002A

Ahora solo queda aplicarla fórmula $P = 12V \times 0,002A = 0,06w$.

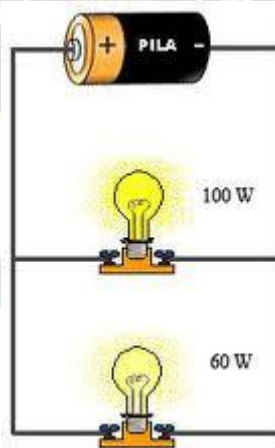


Figura N° 1 Ejemplo de consumo de potencia en corriente continua

Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

2.1.4. Potencia en corriente alterna

La corriente alterna es la que se genera en las centrales eléctricas, por eso todos los receptores que se conecten a los enchufes de las viviendas son de corriente alterna (c.a).

Los receptores en corriente alterna (c.a.) se pueden comportar de 3 formas diferentes.

- **Receptores Resistivos puros.** Solo tienen resistencia pura. Se llaman receptores R.

- **Receptores Inductivos puros.** Solo tienen un componente inductivo puro (bobina). Se llaman L.

- **Receptores Capacitivos puros.** Solo tienen un componente capacitivo (condensadores). Se llaman C.

En realidad no hay ningún receptor R, L o C puro, ya que por ejemplo un motor eléctrico tiene un bobinado con componente L, pero también esta bobina, por ser un cable, tiene una parte resistiva, por lo tanto será un receptor RL o incluso si tiene una parte capacitiva será receptor RLC.

Para analizar estos receptores en circuitos, es mejor hacerlo de forma separada con su componente R, L y C por separado. Así tenemos 3 tipos de circuitos, dependiendo el receptor.

Circuitos R, solo resistencia.

Circuitos L, solo bobina.

Circuito C, solo condensador.

Aunque los circuitos reales serían RL, RC o RLC

Imaginando que ya conoces la c.a., lo primero que hay que tener en cuenta es que en c.a. las ondas de las tensiones y las intensidades son ondas senoidales y están desfasadas, es decir cuando empieza la onda de la tensión, la onda de la intensidad empieza más tarde (excepto en los resistivos).

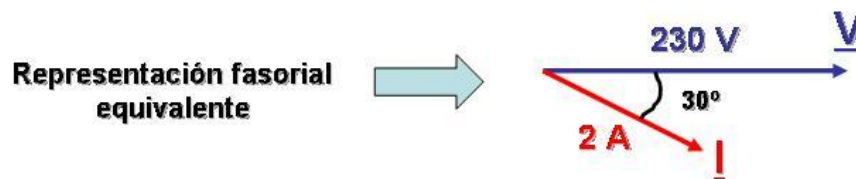
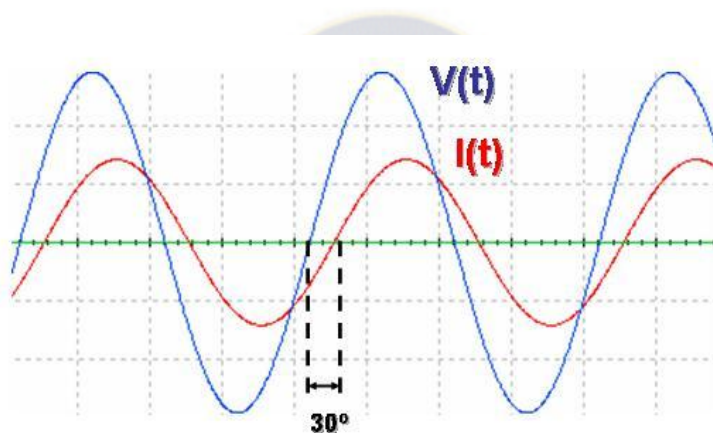


Figura N° 2 Desfase de señales de corriente y voltaje en alterna

Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

En la figura anterior se observa que la onda de la tensión está adelantada 30° respecto a la onda de la intensidad. Esto es lo que hace a los circuitos en alterna diferentes a los de corriente continua (DC).

Es por esto que las tensiones, intensidades, etc. deben de tratarse como vectores, en lugar de números enteros.

Este ángulo de desfase se llama ρ (fi) y el $\cos \rho$ se conoce como factor de potencia.

2.1.5. Tipos de potencia y factor de potencia

Para hacer un análisis completo en corriente alterna, se debe identificar tres tipos de potencias:

Potencia Activa = $P_a = V \times I \times \cos \rho$ se mide en w (vatios)

Potencia Reactiva = $Q = V \times I \sin \rho$; se mide en VAR (voltio amperios reactivos)

Potencia Aparente = $S = V \times I$ se mide en voltio amperios (VA)

A continuación se aprecia el triángulo de potencias para su cálculo y deducir sus fórmulas:

TRIÁNGULO DE POTENCIAS EN ALTERNA

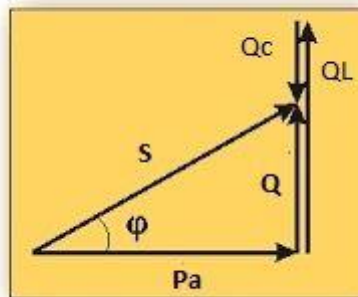


Figura N° 3 Triángulo de potencia en alterna

Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

La potencia activa es la única de las 3 potencia que se transforma en energía útil, es decir es la potencia útil del receptor.

La potencia reactiva es una potencia perdida. Esta potencia es una potencia consumida por las bobinas y por los condensadores.

Tenemos 2 potencias reactivas, Q_I (potencia reactiva inductiva) que será la potencia reactiva consumida por las bobinas para crear campos magnéticos y Q_C (potencia reactiva capacitiva) potencia reactiva consumida por los condensadores para crear campos eléctricos. La suma vectorial de ambas será la potencia reactiva total como luego veremos en los ejemplos. Las dos son potencias perdidas, no son realmente útiles.

La potencia aparente es la suma vectorial de las otras dos, es la potencia útil más la potencia perdida.

Empecemos por la más importante, generalmente la que se conoce como potencia, la potencia activa, y dependiendo del tipo de receptor.

2.1.5.1. Potencia activa

Esta potencia es la que se transforma en energía en los receptores, la que disipan por la parte de resistencia que tienen, la única que se transforma en energía útil. Solo esta potencia eléctrica se transforma en trabajo por el receptor. Esta es la que realmente nos da el dato de qué potente es el receptor y es la que viene expresada en las características de todos los receptores. Es por lo tanto la más importante. Se mide en vatios (w) igual que en DC

Como las señales eléctricas en AC son una onda senoidal, que varían con el tiempo, la fórmula de la potencia depende de la gráfica de la tensión y la intensidad, de cuanto se retrasa una de la otra, por eso se debe utilizar el ángulo a través de coseno del ángulo ρ (ϕ), ángulo de retraso de la onda de la tensión con respecto a la onda de la intensidad. Fíjate como son estos desfases en 3 circuitos puros, uno resistivo puro (resistencia pura), uno inductivo puro (bobina pura) y uno capacitivo puro (condensador puro)

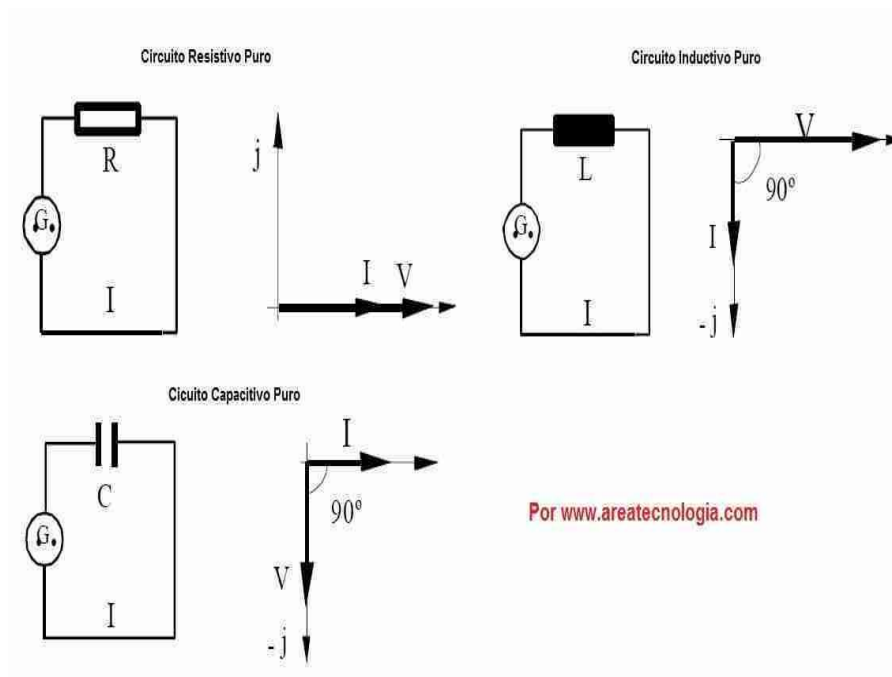


Figura N° 4 Desfase ocasionado por circuitos R, L, C puros

Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

La potencia activa se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_{activa} = V * I * \cos \rho$$

El coseno ρ también se conoce como "Factor de Potencia", es el ángulo de desfase entre la V y la I . Fíjate en los ángulos de desfases de la figura anterior. Según esto, tenemos para cada tipo de circuito:

Resistivo puro: La V y la I están en fase, ángulo de desfase 0° ; $\cos 0^\circ = 1$. El factor de potencia en receptores de resistencias puras es 1. Se llaman circuitos R.

Inductivo puro: La V está adelantada 90° respecto a la I . ángulo de desfase 90° , $\cos 90^\circ = 0$; el factor de potencia es 0. Se llaman circuitos L.

Capacitivo puro: La V está atrasada 90° respecto a la I . ángulo de desfase -90° , $\cos -90^\circ = 0$; el factor de potencia 0. Se llaman circuitos C.

Factor de potencia en Resistencias = 1, es decir siempre tendrá el valor 1 y la fórmula quedará igual que los receptores en DC (al ángulo para que el coseno ρ se igual a 1 es el ángulo de 0°). Esto paso por que la Tensión y la Intensidad siempre están en fase, no se desfasan ningún ángulo (0°).

Por ejemplo una bombilla o un radiador eléctrico (resistencia eléctrica) serán receptores cuya potencia será la misma en DC que en AC por ser puramente resistivos, y porque su factor de potencia es 1.

Receptores que no solo son resistivos, el factor de potencia tomará otro valor.

La mayoría de los receptores tienen una parte resistiva y otra inductiva o capacitiva (incluso las 3), por eso el desfase entre la tensión y la intensidad estará en valores entre 0 y 1 (mayor que 0 y menor que 1). Los circuitos reales suelen ser circuitos RLC (con los 3 componentes) o RL o RC.

Esto por ejemplo ocurre con los motores, transformadores de voltaje y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra siempre con una fracción decimal menor que "1" (como por ejemplo 0,8), que es la forma de indicar cuál es el retraso o desfase de la V con respecto a la I.

Ejemplo: Calcular la potencia que desarrolla un motor eléctrico monofásico, cuyo consumo de corriente es de 10.4 ampere (A), posee un Factor de Potencia o $\text{Cosp} = 0.96$ y está conectado a una red eléctrica de corriente alterna también monofásica, de 220 volt (V).

$P = V \times I \times \text{Cosp} = 220 \times 10.4 \times 0,96 = 2.196, 48 \text{ w}$ o lo que es lo mismo 2,19648Kw.

2.1.5.2. Potencia reactiva

Es la potencia que solo tienen los circuitos que tengan parte inductiva o capacitiva (LC) y no se transforma en energía, no produce trabajo útil, por eso podemos considerarla incluso una pérdida. Se representa por la letra Q y su fórmula es:

$$Q = V \times I \text{ seno } \varphi; \text{ se mide en VAR (voltio amperios reactivos)}$$

2.1.5.3. Potencia aparente

Es la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. Se representa por la letra S y su fórmula es:

$$S = V \times I \text{ se mide en voltio amperios (VA)}$$

2.1.6. Reducción del factor de potencia

Si se quiere mejorar la potencia útil en un circuito, lo que se debe hacer es disminuir la potencia reactiva. A la vista de lo explicado antes esto lo podemos conseguir aumentando la potencia reactiva capacitiva mediante condensadores en paralelo. Con esto conseguimos reducir el ángulo φ . Ya sabemos que al coseno φ se le llama factor de potencia, pues lo ideal es que el coseno $\varphi = 1$ ($\varphi = 0$), ya que todo sería potencia útil.

Un coseno $\varphi = 0,95$ es más eficiente que un coseno $\varphi = 0,85$ en un circuito con receptores.

Poniendo en paralelo con el receptor un condensador o varios, depende si es monofásico o trifásico, se mejora el factor de potencia. Se conectaría como lo indica la figura

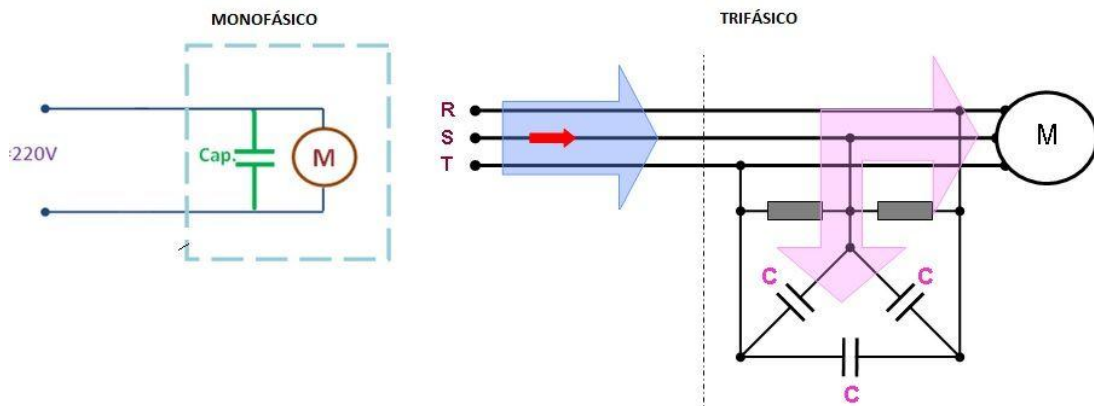


Figura N° 5 Corrección del factor de potencia con condensadores en paralelo

Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

Hay una cosa que se debe saber en corriente alterna. La Resistencia R en ohmios es a los circuitos resistivos, lo que sería la L Inductancia en los inductivos o lo que sería la C capacidad en los capacitivos. La L se mide en henrios H (normalmente mH milihenrios), la C se mide en Faradios (normalmente en microfaradios).

La Resistencia Total en este tipo de circuitos se llama Impedancia y se representa por Z . Es el conjunto de la Resistencia, la inductancia y la capacidad y se mide en ohmios.

2.2. medidores de consumo de energía eléctrica

2.2.1. Antecedentes

Desde el invento de la electricidad se han desarrollado un gran número de dispositivos para medir el consumo de la energía eléctrica residencial. Al igual que los servicios de agua, gas, teléfono y otros, éstos se cobran por cada una de las compañías que prestan dichos servicios.

2.2.2. Concepto de Medidor de energía eléctrica

El medidor de energía, conocido también como contador, conocido también como wathorímetro, es un equipo que se emplea para medir la energía suministrada a los clientes. Aplicada una tarifa establecida por el Ente Regulador (CONELEC), posibilita a la Empresa realizar una facturación adecuada de la potencia y energía consumida.

Cuando se quiere determinar el consumo de energía eléctrica realizado por un usuario se recurre a este dispositivo para que registre dicho consumo.

2.2.3. Clasificación

2.2.3.1. Medidores de energía analógicos

Los medidores analógicos son dispositivos electromecánicos que registran y muestran el consumo de energía eléctrica por hora, medido en “kilowatts-horas” (KWH) en una carátula localizada al frente del medidor, donde se alojan unas manecillas o un contador electromecánico que se incrementa según la cantidad de energía que se esté consumiendo por hora, como se muestra en la figura



Figura N° 6 Medidor de energía eléctrica analógico

Fuente: <http://www.saber.cic.ipn.mx>

Un medidor de energía tipo inducción está constituido por un núcleo de chapa magnética en el que van montados dos bobinas, una en serie con el conductor por el que circula la corriente principal, y que se denomina bobina de intensidad (ó corriente), y otra en bobina en derivación sobre los dos conductores, denominada bobina de tensión. Los flujos magnéticos producidos por ambas bobinas están desfasadas 90° y actúan sobre un disco rotórico de aluminio. Estos flujos producen pares de giros, que a su vez provocan un movimiento de rotación del disco de aluminio a una velocidad angular proporcional a la potencia. El disco de aluminio es, además, frenado por un imán (freno de corrientes parásitas) de tal forma que la velocidad angular del disco sea proporcional a la carga. El aparato está completado por un registrador, que mediante un sistema de transmisión indica los kilovatios-hora consumidos.

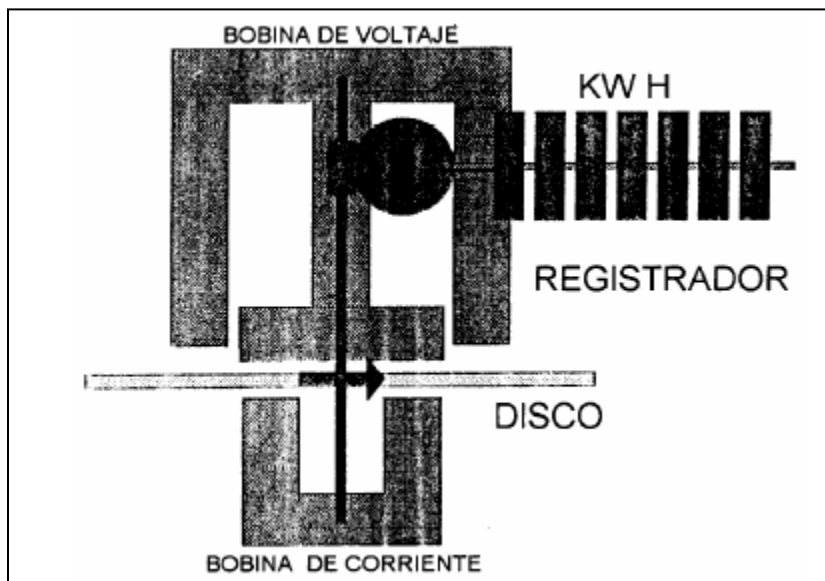


Figura N° 7 Estructura interna de un medidor tipo inducción.

Fuente: <http://www.saber.cic.ipn.mx>

2.2.3.1.1. Estructura

El medidor está constituido por las siguientes partes:

1. Bobina de Tensión
2. Bobina de Intensidad
3. Imán de frenado
4. Regulación fina
5. Regulación gruesa
6. Disco
7. Sistema de Transmisión
8. Terminales de conexión

La representación esquemática de la estructura de un medidor de inducción, se visualiza a continuación en la siguiente figura:

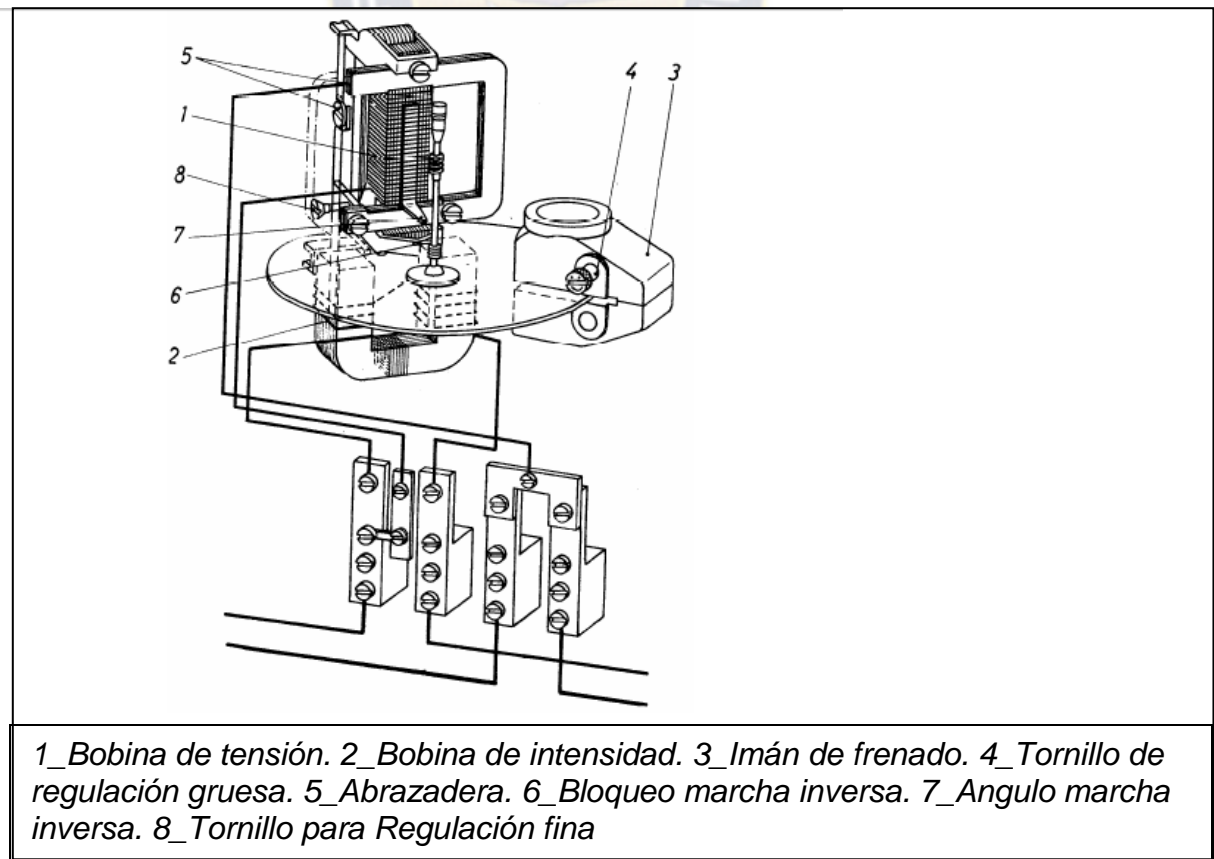


Figura N° 8 Partes de un medidor de energía analógico.

2.2.3.1.2. Características Principales

En la placa de características de un medidor de energía se indica:

a) Corriente Nominal (I_n): corriente para la cual el medidor es diseñado y que sirve de referencia para la realización de ensayos y verificaciones. También se la conoce como corriente básica.

b) Corriente máxima ($I_{m\acute{a}x}$): es la intensidad límite, es decir, el máximo amperaje que puede ser conducido en régimen permanente por la corriente del medidor, sin que su error porcentual y temperatura admisible sean superados. Este valor de la corriente límite se indica entre paréntesis detrás de la corriente nominal I_n ($I_{m\acute{a}x}$); por ejemplo: 10 (20) A, 10(40) A, 15(60) A, 15 (100)A., etc.

c) Tensión nominal: Tensión para la cual el medidor es diseñado y sirve de referencia para la realización de pruebas. Se debe indicar que los medidores electrónicos se diseñan con un rango de tensión sin que se vea afectada su precisión.

d) Constante del disco (K_h): expresada en Wh/revolución, es el número de vatios-hora correspondientes a una revolución o vuelta completa del disco. Expresada en revolución/Kwh, es el número de revoluciones correspondiente a un KWh que debe dar el disco. En medidores electrónicos, esta constante viene expresada en Wh/pulso.

e) Clase de precisión: Es el valor máximo del error de medición expresado en porcent+aje para el cual fue diseñado el medidor dentro del rango 10% de corriente nominal y su corriente máxima.

2.2.3.2. Medidores de energía digitales

El segundo grupo está integrado por los medidores digitales de estado sólido (sin partes mecánicas móviles) que realizan la misma función que un medidor electromecánico pero que poseen todas las ventajas de un sistema digital como lo es la exactitud, fácil reproducción y estabilidad, entre otras.

La medición se realiza mediante sensores que miden el voltaje y la corriente en la línea de suministro y posteriormente, dichas variables son adquiridas por un procesador o microcontrolador que se encarga de hacer los cálculos correspondientes al consumo, el cual se muestra en un dispositivo de visualización digital (pantallas de cristal líquido).

2.2.3.2.1. Características principales:

- Tecnología de teclado
- Encriptación de datos de 20 dígitos empleando el algoritmo RSA
- Desconexión automática
- Despliegado de voltaje, corriente, potencia aparente, potencia real y factor de potencia

2.2.3.2.2. Especificaciones técnicas

- Monofásico
- Voltaje nominal 120 VAC
- Corriente nominal 2.5 A
- Corriente máxima 7.5 A

- Frecuencia 60 Hz
- Visualización en pantalla de cristal líquido



Figura N° 9 Medidor de energía digital

Fuente: <http://www.saber.cic.ipn.mx>

Además de las ventajas mencionadas, un sistema de tipo digital ofrece una enorme flexibilidad ya que no solo puede registrar y mostrar el consumo sino que puede también registrar y visualizar información adicional como el voltaje, la corriente, la potencia aparente, la potencia real y la potencia reactiva por mencionar algunos parámetros que pueden ser calculados además de la capacidad de comunicaciones vía telefónica, infrarroja o celular.

CAPITULO III

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO

En éste capítulo se hará la descripción detallada de cómo se obtiene las mediciones de voltaje y corriente alternos, así como de su uso en la codificación en un microcontrolador para tener como resultado un sistema que logre controlar el consumo de energía eléctrica de tres puntos diferentes

3.1. Fundamento teórico específico

3.1.1. Formas de detección de corriente y voltaje AC

3.1.1.1. Medición de corriente por resistencia Shunt

Cuando se necesita medir una corriente cuyo valor es mayor que la que puede soportar el instrumento de medida, se agrega un shunt en serie con la carga y paralelo al shunt se conecta el instrumento, el que puede tener conectado a su vez una resistencia adicional en serie que permite ajustar la corriente nominal del mismo.

De esta forma solamente una intensidad pequeña de corriente pasa por el mecanismo de medida, lo que facilita sustancialmente su fabricación y servicio. Por lo general el shunt y el galvanómetro del instrumento aparecen formando una misma unidad como es el caso de los amperímetros. Para no alterar la distribución de corrientes en las ramas formadas por el shunt y el galvanómetro con la resistencia adicional al variar la temperatura, es necesario asegurar la constancia del coeficiente de shuntado. Para ello, el shunt se fabrica de manganina, o sea, de una aleación cuyo coeficiente de temperatura es próximo a cero y que no forma un par termoeléctrico con el cobre. Para eliminar la acción del calentamiento, en serie al enrollado de cobre de la bobina del instrumento, se conecta la resistencia adicional elaborada también con manganina.

Los shunts se usan sólo con los mecanismos de medida cuyo consumo propio es pequeño, ya que el calentamiento del shunt es mayor que el calentamiento del mecanismo de medida. Por esta causa, únicamente los mecanismos de medida de

sistemas magnetoeléctrico y rectificador se dotan de shunts. Un mismo aparato con un juego de shunts puede servir para medir corrientes de la más variada intensidad. Con frecuencia, los shunts se colocan dentro del cuerpo del aparato, como es el caso de muchos amperímetros.

En las instalaciones de corriente alterna, para ampliar los límites de medición de corriente, los aparatos se conectan a través de los transformadores de medida de corriente. Para limitar la corriente del galvanómetro a su valor nominal se utiliza una resistencia adicional en serie con la bobina del mecanismo de medida (galvanómetro), pues este está calculado para una determinada intensidad de corriente (corriente nominal) con la cual la aguja del aparato se desvía a toda escala. En la mayoría de los galvanómetros esta corriente es relativamente pequeña (de 0,1 a 50 mA, aproximadamente). También la resistencia de su arrollamiento de cobre es relativamente pequeña y la completa la resistencia adicional. Por consiguiente, la resistencia adicional necesaria es igual a la tensión nominal del galvanómetro entre su corriente nominal menos la resistencia de la bobina del instrumento.

La resistencia de todo el circuito del instrumento de medición debe ser fija e independiente de la temperatura y la frecuencia de corriente alterna. La resistencia adicional se produce de manganina o constantán y para evitar el influjo de la frecuencia, la resistencia no debe ser reactiva, con este fin el alambre de la misma se enrolla de modo bifilar o en una capa sobre una fina lámina aislante.

Los circuitos de tensión de los vatímetros, fascímetros, frecuencímetros y otros aparatos también se dotan de resistencias adicionales. Según sea la potencia disipada por la resistencia adicional y la tensión nominal, la resistencia adicional se coloca en el cuerpo del aparato o se instala fuera de él.

En un instrumento de medición con shunt, la corriente a medir será igual al coeficiente constante del shunt por la corriente nominal del instrumento, entendiéndose coeficiente del shunt a las veces por las que se debe multiplicar el

valor de la corriente que circula por el galvanómetro para obtener el valor real de la corriente que circula por la carga.

3.1.1.2. Medición de corriente por Bobina de Rogowski

Es un inductor con núcleo de aire de tipo toroidal ubicado perpendicularmente alrededor de un conductor con la corriente a medir, y cuyo campo magnético circular, atraviesa todas las espiras induciendo una tensión proporcional a la inductancia mutua y la derivada de la corriente primaria. La tensión en el secundario es proporcional a las variaciones de la corriente. Al tener núcleo de aire no posee histéresis, saturación o problemas de no linealidad, pudiendo manejar altas corrientes, sin incremento de temperatura.

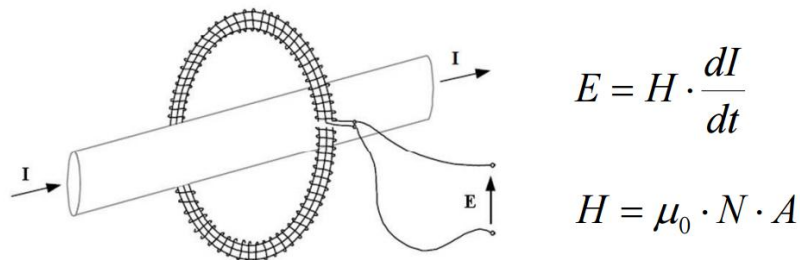


Figura N° 10 Voltaje equivalente en Bobina de Rogowski

Fuente: <http://www.cenam.gob.mx/>

E es la tensión inducida

H es la sensibilidad de la bobina (Vs/A) es la sensibilidad de la bobina (Vs/A)

μ_0 es la permeabilidad magnética del núcleo

N es el número de vueltas

A es el área de una vuelta (m²)

Si la bobina Rogowski forma un circuito cerrado en torno a la corriente a ser medida I , entonces la tensión n inducida E en la bobina es teóricamente independiente de su forma y de la posición del conducto r de corriente dentro de esta.

La tensión inducida E en los extremos de la bobina, corresponde a la variación AC en el tiempo del flujo magnético que cruza el área transversal de esta. La integral de la tensión E en el tiempo, recupera la información de la corriente medida; con una constante de tiempo de integración, T_i .

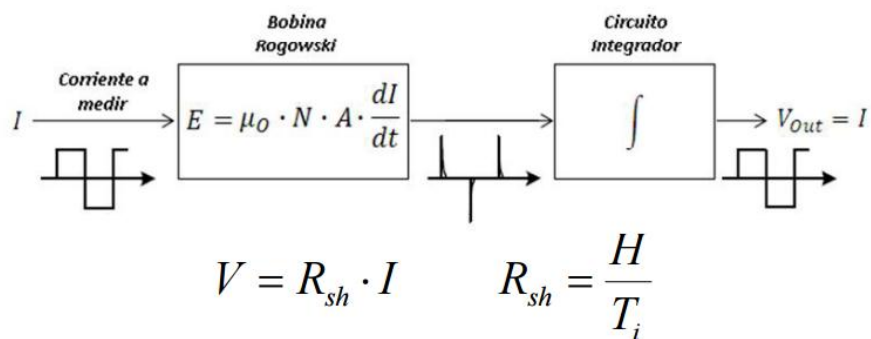


Figura N° 11 Forma correcta de obtención de señal eléctrica con Bobina de Rogowski

Fuente: <http://www.cenam.gob.mx/>

Para tener una lectura más precisa de dicha corriente se podría implementar el circuito de la siguiente figura

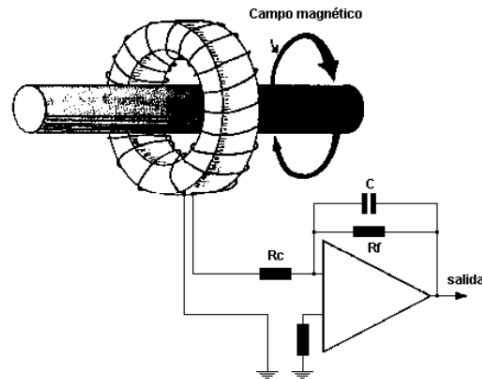


Figura N° 12 Circuito equivalente de sensor en base a Bobina de Rogowski

Fuente:<http://www.unne.edu.ar/>

3.1.1.3. Medición de corriente por sensor de efecto Hall

Una de las formas de medir corrientes usando un microprocesador es usar un sensor de efecto Hall, este tipo de sensores son sensibles a las variaciones del campo magnético que lo atraviesa, generando un voltaje en su salida equivalente a la influencia magnética que lo circula, es el tipo de sensor usado en las pinzas amperimétricas industriales para medir tensiones en corriente continua.

Lo mejor que tienen es que son relativamente sensibles, por lo que se pueden medir corrientes de 0,5 Amperios con aproximada precisión (no es muy preciso debido a muchas circunstancias) pero sí que te haces una idea de la corriente que circula por el conductor.

El principio físico que rige el funcionamiento de este sensor es muy muy simple, toda carga eléctrica que se desplaza por un medio (un cable por ejemplo) en presencia de un campo magnético es desviado hacia alguna dirección por las fuerzas del electromagnetismo, la misma fuerza que mueve los motores eléctricos como se muestra en la figura

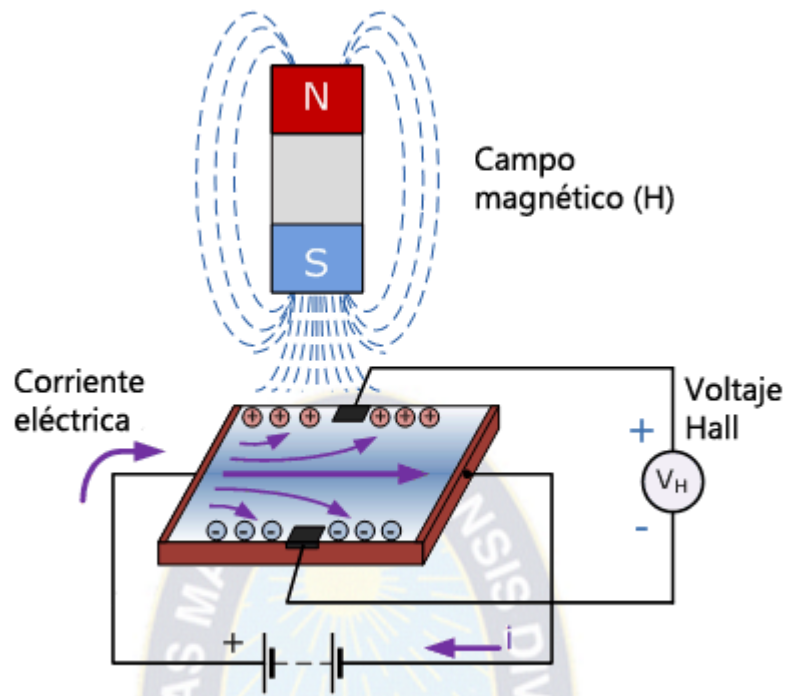


Figura N° 13 Diagrama de sensor de corriente por efecto Hall

Fuente: <http://www.unne.edu.ar/>

Existen dos tipos de sensores Hall. El de anillo abierto (open loop) y el anillo cerrado (closedloop). El segundo ofrece mejor precisión y rangos dinámicos más altos pero son más caros. En general tienen muy buena respuesta en frecuencia y pueden medir corrientes elevadas. Tienen como desventajas el problema de las derivas con la temperatura, la necesidad de circuitos externos de control y su elevado costo.

3.1.1.4. Transformador de corriente CT

Los transformadores de corriente (TC) son sensores que se utilizan para medir la corriente alterna. Son particularmente útiles para medir el consumo de electricidad de un edificio entero (o generación según sea el caso). El tipo de núcleo dividido, es particularmente adecuado para el uso en proyectos, ya que se puede enganchar directamente a cualquier cable de alta tensión o neutral sin tener que hacer ningún trabajo de alta tensión eléctrica.

Emplea el mismo principio que el transformador de tensión, con una relación de transformación conveniente para lograr una corriente secundaria de valor reducido. Posee mayor sensibilidad que el TI lineal y consume poca potencia. Sin embargo el material ferroso del núcleo provoca un comportamiento no lineal entre el campo magnético B y la excitación, pudiendo incluso llegar a la saturación de aquel, con la consabida pérdida de sensibilidad.



Figura N° 14 Sensor de corriente SCT013

Fuente:<http://www.diverteka.com/>

La gran ventaja de este sensor frente a otra circuitería – o incluso al típico multímetro – es que no precisamos “cortar” (interrumpir) el cable donde vamos a efectuar la medición ya que el sensor puede abrirse para que hagamos pasar por el mismo el cable (¡jojo! , tan solo uno) de la instalación que deseemos verificar. Pasamos el cable y este se comporta como un bobinado (de espira única) en el transformador que incorpora el sensor.



Figura N° 15 Forma de realizar la medición con sensor de corriente SCT013

Fuente:<http://www.diverteka.com/>

Su principio de funcionamiento está basado en el transformador eléctrico (estrictamente en un transformador de intensidad). Internamente el sensor incorpora un pequeño transformador constituido por su núcleo y, en vez de dos devanados – típicamente primario y secundario – tiene tan solo un bobinado en uno de los extremos de su núcleo ferromagnético. Si tomamos este bobinado como el secundario, la parte correspondiente al primario serían las espiras (en este caso la espira única) que constituirá el mismo en cuanto lo insertemos en el circuito a medir.

3.1.2. Cálculo de valor eficaz de una señal con un microcontrolador

Recordemos la forma de onda alterna que nos provee el suministro eléctrico domiciliario.

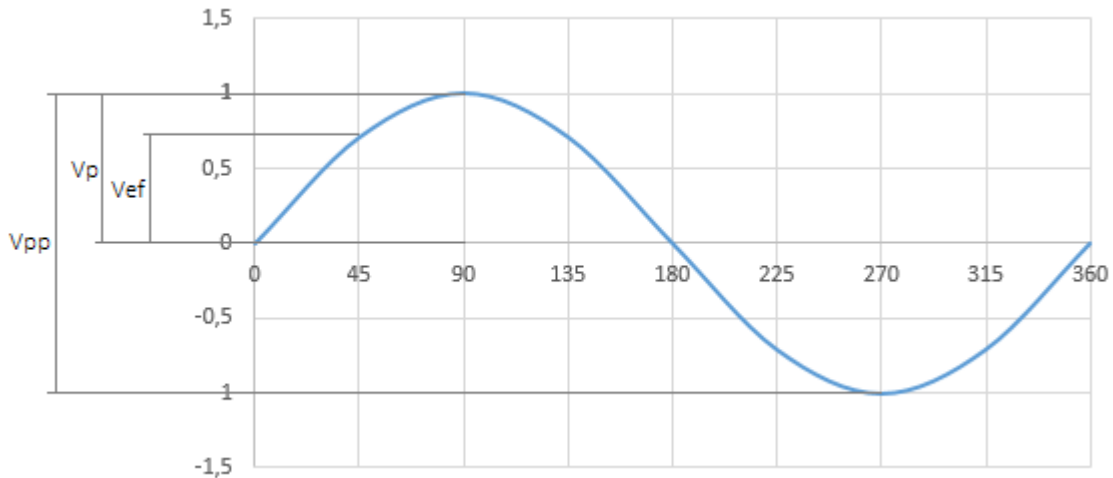


Figura N° 16 Señal senoidal con valor eficaz señalado

Fuente:<http://electgpl.blogspot.com.ar/>

Como se puede ver en la imagen de la forma de onda, responde a la función seno con los máximos entre 1 y -1, con un periodo de 360° o 2π . Donde también podremos ver el cruce por cero en 0° , 180° y 360° , al tratarse de una señal periódica este ciclo se repetirá indefinidamente.

El valor Vp o Valor Pico, es el que se encuentra entre el 0 de la amplitud y el valor máximo, el valor Vpp será el valor entre los dos picos (el positivo y el negativo, que en este caso será 2 veces Vp), por ultimo el valor eficaz o RMS (Root Mean Square, o Raíz Media Cuadrática).

El valor RMS como lo indica su nombre será el valor de $\frac{\sqrt{2}}{2}$ lo que es igual a 0.707, como podremos ver en el gráfico la cota de Vef sale a 0.707.

Usualmente cuando uno busca el valor pico de una tensión alterna del suministro eléctrico, lo que se hace es tomar el valor eficaz medido por el multímetro (220V) y lo multiplicamos por $\sqrt{2}$ (1.4142) este valor nos dará un $V_p=311V$ y un V_{pp} de 622V.

El valor RMS conocido como $\sqrt{2}/2$, no es una constante física, sino que es el resultado de un cálculo más complejo en base a la fórmula del valor eficaz con su integral.

Donde debemos integrar en el rango deseado el valor del cuadrado de la función, en este caso, seno y luego debemos calcular su raíz.

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt}$$

Como se puede ver, se tendrá que cambiar v por la función seno y llegaremos al valor de Raíz de 2 sobre 2 " $\sqrt{2}/2$ ".

Hay que tener en cuenta que el resultado de $\sqrt{2}/2$ solo servirá para una función seno, si la forma de onda que estamos midiendo no es senoidal (por ejemplo: una señal con ruido, la señal de una carga inductiva de potencia, la señal de un variador, de un dimmer, etc.) no servirá el valor $\sqrt{2}/2$. Esto quiere decir que deberíamos realizar un análisis de la función y una vez que llegamos a la función podremos aplicar la integral y demás, pero la realidad es que esto no es algo útil para un instrumento de medición, se debe encontrar la manera para que nuestro instrumento de medición pueda medir cualquier forma de onda y saber el valor eficaz de la misma.

Existe otra forma de hacerlo más discreta donde aplicaremos la fórmula de la raíz de la sumatoria de los cuadrados de la media.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_N^2}{N}}$$

Esta fórmula nos dará el mismo resultado que la fórmula de la integral, pero para utilizar la fórmula debemos tomar varias mediciones a la señal "Discretizar" tomando muchas mediciones a la misma y cada medición será elevada al cuadrado, sumada con la siguiente y al finalizar todas las mediciones "Muestreo" dividiremos esa suma por la cantidad de muestras y aplicaremos la raíz cuadrada. La precisión de la misma será función de la cantidad de muestras que tomemos.

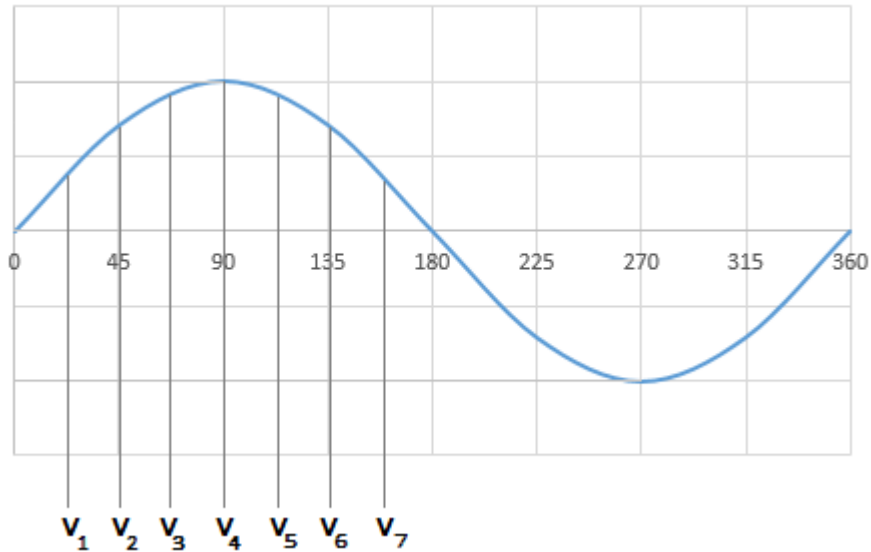


Figura N° 17 Muestreando una señal senoidal

Fuente: <http://electgpl.blogspot.com.ar/>

Como podemos ver en la imagen, estamos tomando valores instantáneos de tensión a determinado tiempo, $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$, en esta imagen solo tomamos 7 valores pero mientras más muestras tomemos más cerca de la realidad estará nuestra señal.

En nuestro caso tomamos 300 muestras, cada muestra se eleva al cuadrado (se multiplica por si misma) y se suma con la siguiente (aquí pondremos el concepto de acumulador), luego dividimos el valor final en 300 ya que son la cantidad de muestras realizadas y luego aplicaremos la raíz cuadrada, la cantidad de muestras es a gusto, y mientras más muestras tomemos más tardara nuestro programa en realizar el cálculo, pero más eficiente será el valor que nos muestra.

Hay que tener en cuenta también el valor de la frecuencia de la forma de onda, como nuestro programa está pensado para medir la tensión RMS en la red eléctrica solamente tendremos 50Hz que luego de rectificarla tendremos 100Hz lo que será igual a 10ms.

3.2. Diseño del circuito

3.2.1. Circuito de obtención y amplificación de señales eléctricas

El primer punto a solucionar es la obtención de las señales de corriente y voltaje AC sin correr el riesgo de quemar la etapa de control del circuito. Una opción segura sería utilizar un sensor de efecto Hall, sin embargo los voltajes obtenidos para muestrear es demasiado pequeño, y al amplificarlo, también el ruido eléctrico resulta amplificado. También es una buena opción utilizar un sensor de corriente SCT 013 no invasivo para obtener la señal de corriente, pero éste se utiliza para medir cantidades muy grandes y no será muy sensible a pequeños cambios. De ésta manera se decidió utilizar una resistencia de Shunt para obtener un voltaje pequeño proporcional a la corriente utilizada; además de un transformador reductor de 220v a 8v con un divisor de tensión para tener la señal de voltaje.

Ya que existía un riesgo al hacer una lectura de nivel de corriente de forma directa, se decidió proteger las etapas rectificadoras con limitadores de tensión.

Como se trabaja con la red eléctrica de 240 v pico; 50 Hz de frecuencia de forma senoidal, se debe tomar en cuenta que los valores obtenidos por los transformadores serán positivos y negativos (oscilantes). Se desea que dichas señales ingresen a un microcontrolador PIC 16F877A por los terminales de entrada analógica, por lo cual será necesario rectificar las señales resultantes, para que solo tengan valores positivos.

Las resistencias Shunt implementadas son de 0,47 ohm, 5 watts; con lo cual llegarían a tener problemas de medición de corrientes mayores a 5 amperios en un solo instante, por lo cual dicho valor será el valor tope del instrumento.

Una vez adaptadas las señales, se las introducirá a las entradas analógicas del PIC. Con estas señales variantes se hallará los voltajes eficaces tanto de tensión, como de corriente; multiplicando ambas y de esta manera obteniendo el valor equivalente de potencia eléctrica.

El diagrama en bloques será el que muestra la figura:

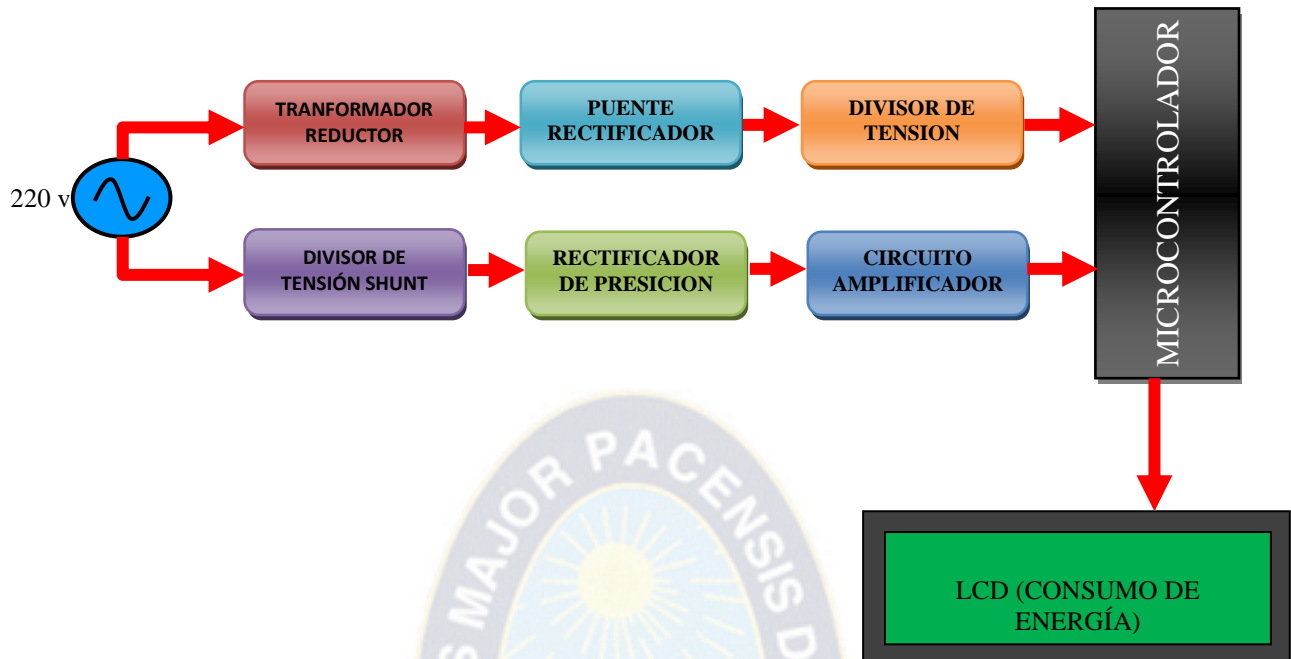


Figura N° 18 Diagrama en bloques de circuito de consumo de energía eléctrica

Fuente propia

De la figura se puede apreciar que se tendrá dos circuitos diferentes que adecuen las señales de tensión y corriente. Debido a que un osciloscopio y un microcontrolador no pueden medir señales de corriente, el circuito amplificador entrega una señal variante en tensión. Esta señal es proporcional a la señal de corriente utilizada.

El bloque de Transformador reductor, consta de un transformador de 500mA para una tensión de 220v en el primario, reduciendo a 8v en el secundario, esta señal es proporcional a la señal de entrada alterna.

El puente rectificador hará que la señal ya esté en solamente niveles positivos, pero de valor eficaz superior a 5v, como el microcontrolador no sería capaz de soportarlos, se conecta el siguiente bloque.

El divisor de tensión hará que el voltaje que cae en una resistencia sea menor que 3v, siendo ya éste adecuado para conectarlo al microcontrolador.

El bloque de divisor de resistencia Shunt es una resistencia colocada en serie con la carga de un valor muy bajo (0.47 ohm), de ésta manera valor pico de cada señal de corriente estará en el orden de los milivoltios

El microcontrolador se encargará de realizar conversión.

El circuito equivalente se aprecia en la siguiente figura:

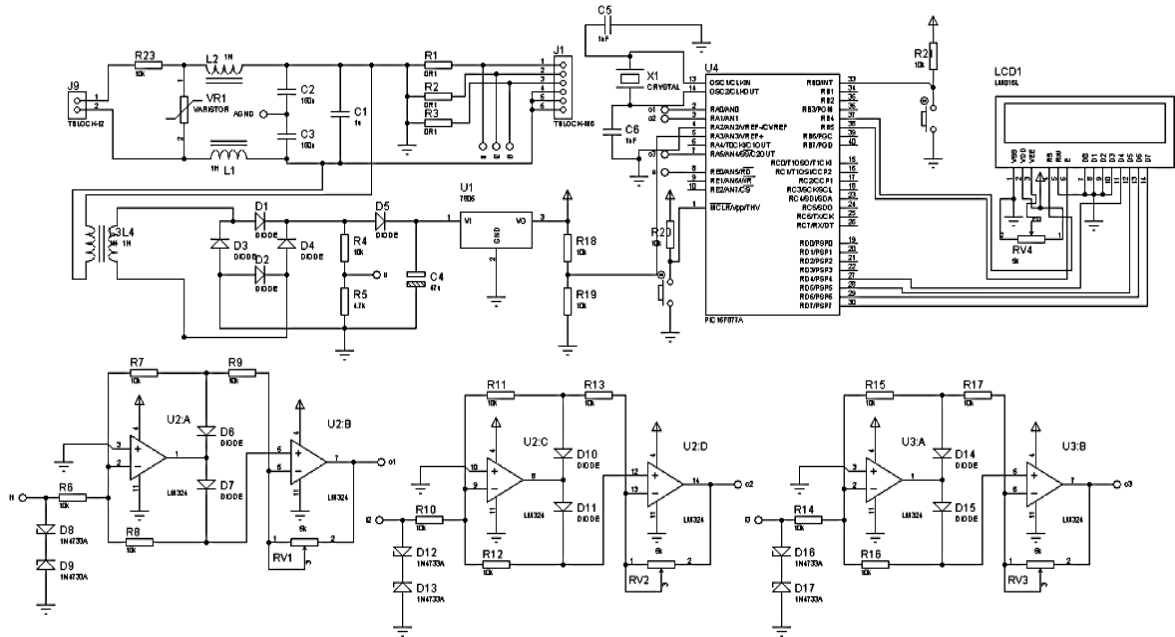


Figura N° 19 Circuito propuesto para la medición de consumo de energía eléctrica

Fuente propia

Las resistencias R1, R2 y R3 son las resistencias Shunt de 0,47 ohm 5 w, las cuales van en serie con la carga a medir el consumo. De cada resistencia sale un voltaje a una etapa de rectificador de precisión, con diodos zener de 5.1v para protección. Estos rectificadores tienen ganancia igual a 1, con lo cual se tendrá a la salida de los mismos un voltaje alterno positivo de frecuencia 100 Hz, variable de 0 a 2.8 v.

3.2.2. Programa de control de consumo de energía

Para el presente proyecto se utilizó un microcontrolador PIC16F877A, debido al número de entradas analógicas, disponibilidad de memoria EEPROM interna, interrupción externa y versatilidad de uso.

Para configurar el mismo, se utilizó el programa “MikroBasic Pro forPic”, debido a que éste trabaja en lenguaje de alto nivel, haciendo el programa de control más sencillo de comprender.

El programa consiste en tomar 200 muestras de una señal analógica cada periodo completo de la señal eléctrica de 50 Hz. Cada muestra se eleva al cuadrado y se la suma a la señal anterior.

Una vez obtenida la sumatoria de los cuadrados de cada valor, se divide este valor entre 200, que es la cantidad de muestras, y se halla la raíz cuadrada del resultado; dando como valor obtenido el valor “RMS” o valor eficaz de una señal alterna.

Este procedimiento se realiza para las tres señales de corriente disponibles, y para una señal de tensión de línea; todas representadas por un voltaje variable de 0 a 3 voltios.

Para tener los valores reales de cada señal, en caso de las corrientes se hace uso de la Ley de Ohm, pues se conoce el valor de resistencia Shunt, y el voltaje eficaz que cae en ésta. Para el caso del voltaje se multiplica por un factor equivalente al divisor de tensión que se tenía a la salida del secundario del transformador reductor, y a la relación de vueltas del mismo.

Para obtener la potencia de cada carga, se multiplicará el valor de cada corriente, por el valor de tensión de línea, dando como resultado un valor en watts.

Como se dará un intervalo de tiempo de 1 segundo para realizar la secuencia nuevamente, el valor de potencia tendrá unidades watt/s, equivalente a potencia consumida.

Teniendo los tres valores de potencia, se hace una equivalencia de porcentajes, para que éstos últimos sean mostrados en la pantalla de un display LCD.

A continuación se muestra el programa utilizado para realizar toda la secuencia descrita:

```
program medidor
  'configurar pines de LCD
  dim
  LCD_RS as sbit at RB1_bit
  LCD_EN as sbit at RB2_bit
  LCD_D4 as sbit at RD4_bit
```

LCD_D5 as sbit at RD5_bit
LCD_D6 as sbit at RD6_bit
LCD_D7 as sbit at RD7_bit

LCD_RS_Direction as sbit at TRISB1_bit
LCD_EN_Direction as sbit at TRISB2_bit
LCD_D4_Direction as sbit at TRISD4_bit
LCD_D5_Direction as sbit at TRISD5_bit
LCD_D6_Direction as sbit at TRISD6_bit
LCD_D7_Direction as sbit at TRISD7_bit

dim pot1 as float absolute \$32
dim pot2 as float absolute \$36
dim pot3 as float absolute \$3A
dim pa1 as byte absolute \$32
dim pb1 as byte absolute \$33
dim pc1 as byte absolute \$34
dim pd1 as byte absolute \$35
dim pa2 as byte absolute \$36
dim pb2 as byte absolute \$37
dim pc2 as byte absolute \$38
dim pd2 as byte absolute \$39
dim pa3 as byte absolute \$3A
dim pb3 as byte absolute \$3B
dim pc3 as byte absolute \$3C
dim pd3 as byte absolute \$3D

dim i1,i2,i3,v as float
dim res as float
dim dato as string[5]
dim trup as string[23]
dim corriente1,corriente2,corriente3,voltaje as float
dim i as integer
dim a,b as byte
dim irms1,irms2,irms3,vrms as float
dim porc1, porc2, porc3, porctot as float

```
sub procedure leer_datos()  
  delay_ms(50)  
  pa1=Eeprom_Read($00)  
  pb1=Eeprom_Read($01)  
  pc1=Eeprom_Read($02)  
  pd1=Eeprom_Read($03)  
  pa2=Eeprom_Read($04)  
  pb2=Eeprom_Read($05)  
  pc2=Eeprom_Read($06)
```

```

    pd2=Eeprom_Read($07)
    pa3=Eeprom_Read($08)
    pb3=Eeprom_Read($09)
    pc3=Eeprom_Read($0A)
    pd3=Eeprom_Read($0B)
end sub
sub procedure grabar_datos()
    Eeprom_Write($00,pa1)
    Eeprom_Write($01,pb1)
    Eeprom_Write($02,pc1)
    Eeprom_Write($03,pd1)
    Eeprom_Write($04,pa2)
    Eeprom_Write($05,pb2)
    Eeprom_Write($06,pc2)
    Eeprom_Write($07,pd2)
    Eeprom_Write($08,pa3)
    Eeprom_Write($09,pb3)
    Eeprom_Write($0A,pc3)
    Eeprom_Write($0B,pd3)
end sub
sub procedure borrar_datos()
    for i=0 to 20
        Eeprom_Write(i,$00)
    next i

end sub
sub procedure interrupt
    a=0
    delay_ms(1000)
    INTCON.INTF=0
end sub

main:
OPTION_REG=%10000000
INTCON=%10010000
res=0.47      'valor de resistencia del sensor de corriente
a=1
Delay_ms(200)
ADCON1=$81    'habilitando voltaje de referencia en adc y entradas analógicas
TRISA=$FF     'puerto A como entrada
TRISB.0=1
Lcd_Init()    'iniciando LCD
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR)      'borrar pantalla
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF) 'quitar cursor
Lcd_Out(1,2,"BIENVENIDO")
    delay_ms(1000)
    bucle:

```

```

if a=0 then
  borrar_datos()
  a=1
end if
leer_datos()
corriente1=0
corriente2=0
corriente3=0
voltaje=0
for i=1 to 200
  i1=adc_read(0)*(3.3/1023)
  i2=adc_read(1)*(3.3/1023)
  i3=adc_read(4)*(3.3/1023)
  v=adc_read(5)*(3.3/1023)
  corriente1=i1*i1+corriente1
  corriente2=i2*i2+corriente2
  corriente3=i3*i3+corriente3
  voltaje=v*v+voltaje
  delay_us(100)
next i
'valores rms de cada señal
irms1=sqrt(corriente1/200)/res      'i=v/r
irms2=sqrt(corriente2/200)/res
irms3=sqrt(corriente3/200)/res
vrms=sqrt(voltaje/200)*130.0
'valores de potencia
pot1=irms1*vrms+pot1
pot2=irms2*vrms+pot2
pot3=irms3*vrms+pot3
grabar_datos()
'porcentaje de consumo
porctot=pot1+pot2+pot3
porc1=(pot1/porctot)*100
porc2=(pot2/porctot)*100
porc3=(pot3/porctot)*100
'mostrando valores en LCD
floattostr(porc1,dato)
Lcd_Out(1,1,"A")
Lcd_Out(1,2,dato)
Lcd_Out(1,7,"% B")
floattostr(porc2,dato)
Lcd_Out(1,10,dato)
Lcd_Out(1,15,"% ")
floattostr(porc3,dato)
Lcd_Out(2,1,"C")
Lcd_Out(2,2,dato)

```

```
Lcd_Out(2,7,"% consumo")
'porcentaje de consumo watt/segundo
delay_ms(1000)
goto bucle
end.
```

3.3. Implementación del circuito

Una vez finalizado el programa, se procedió a implementar el circuito en placa impresa. La siguiente figura muestra el acabado de dicha placa



Figura N° 20 Funcionamiento de circuito de medición de consumo de energía

Fuente propia

De la figura se puede apreciar que el acabado del circuito ocupa un pequeño espacio, y es fácil de conectar, pues cuenta con su propio cable de alimentación, su propio transformador, todo debidamente acomodado en una pequeña caja metálica de tal manera que está listo para entrar en operación.

Las borneras que aparecen en la parte superior derecha son las salidas a las diferentes cargas (tomas de corriente) a medir, con un cable en común.

Además se aprecia en el LCD que ya hay un porcentaje de consumo a pesar que no haya cargas; esto debido a que la memoria interna del microcontrolador es capaz de almacenar el dato anterior de medición, haciéndolo inmune a cortes de energía

CAPÍTULO IV

4. COSTOS

A continuación se detallará los costos que involucraron en el procedimiento y acabado del presente proyecto

4.1. Costos fijos

| Nº | MATERIAL | COSTO (Bs) |
|-------|--|------------|
| 1 | Microcontrolador PIC 16F877A | 35 |
| 2 | Transformador de voltaje de 500 mA, 8 VAC. | 20 |
| 3 | Display LCD | 40 |
| 4 | Cristal de cuarzo resonante de 4MHz. | 4 |
| 5 | Regulador de tensión LM7805 | 5 |
| 6 | Cinco diodos 1N4001 | 2.5 |
| 7 | Capacitor de 3300 uF / 50v | 3 |
| 8 | Tres capacitores de 0.1 uF/ 25v | 1 |
| 9 | Tres resistencias de 0.47 Ω 5w | 6 |
| 10 | Resistencia de 475 Ω ¼ w | 0.3 |
| 11 | Diez resistencias de 1 K Ω ½ w | 5 |
| 12 | Dos capacitores de 22 pF | 1 |
| 13 | Cinco resistencias variables de 5 K Ω | 10 |
| 14 | Dos resistencias de 100 K Ω ½ w | 1 |
| 15 | 3 metros de cable de alimentación | 6 |
| 16 | Interruptor de encendido-apagado | 2 |
| 17 | Pulsador de reseteo | 0.5 |
| 18 | Implementos de soldadura | 5 |
| 19 | Placa virgen de baquelita | 7 |
| TOTAL | | 151 Bs |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se logró realizar el diseño de un sistema que permite el control de consumo de energía eléctrica, pudiendo comprobar su correcto funcionamiento en una vivienda por el lapso de una semana
- Gracias a la implementación de este proyecto, las personas pueden ver cuánto de energía consumen, y por lo tanto hacen lo posible de no exceder el precio que son capaces de pagar, evitando de este modo gastar innecesariamente energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

TECNOLÓGICAS

- Se recomienda no superar el rango máximo de medición del equipo (5 amperios), pues aunque sea capaz de soportar dicha corriente, con el tiempo comenzará a deteriorarse
- Como en todo equipo electrónico, se recomienda implementarlo en lugares frescos y secos, donde el sol no le de alcance, pues al paso del tiempo, el Display LCD podría llegar a dañarse.

ACADEMICA

- En las materias avanzadas de Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de Tecnología, debería hacerse un mayor énfasis en el tema “Tipos de sensores” y la calibración de los mismos, pues como profesionales del área de Electrónica y Telecomunicaciones, muchas veces nos tocará dar solución a problemas donde algún sensor no posee la capacidad suficiente de activar alguna etapa posterior.

BIBLIOGRAFÍA

- Milan Verle, (2010), MICROCONTROLADORES-PROGRAMACIÓN EN MIKROBASICPRO FOR PIC, 1ra edición.
- Jorge Olvera Ortega, (2003) DISEÑO DE UN MEDIDOR ELÉCTRICO DIGITAL DE PREPAGO, TESIS, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN, (C.I.C)
- Fabián Ríos C., *ELECTRICISTA BASICO DE REDES ELECTRICAS- Acometidas y Medidores/ Pérdidas de Energía.*
- Wilson AndresPerezDiaz - Juan Manuel Quiroga Jordán, (2006) DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO DE CONTADOR DE ENERGÍA TRIFÁSICO UTILIZANDO UN PROCESADOR DE SEÑALES DIGITALES (DSP) TESIS, UNIVERSIDAD INSDUSTRIAL DE SANTANDER.
- http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/ke_potencia_elect_1.htm
- [https://www.ecured.cu/Shunt_\(El%C3%A9ctrico\)](https://www.ecured.cu/Shunt_(El%C3%A9ctrico))
- <https://cuningan.wordpress.com/2011/07/05/medir-corriente-electrica-con-un-sensor-de-efecto-hall/comment-page-1/>
- http://www.cenam.gob.mx/dme/pdf/pre_t1-jue-2.pdf
- <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2003/comunicaciones/07-Tecnologicas/T-045.pdf>
- <http://www.diverteka.com/?p=1966>