



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

LA APLICACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN GUATEMALA

PABLO ANTONIO TANCHEZ PÉREZ

Asesorado por Inga. MARÍA MAGDALENA PUENTE ROMERO

Guatemala, Febrero de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**LA APLICACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO
ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO
DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO ANTONIO TANCHEZ PÉREZ

ASESORADO POR INGA. MARÍA MAGDALENA PUENTE ROMERO

AL CONFERÍRSE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Rivera
EXAMINADOR	Ing. Romeo López
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Solares Pénate
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

LA APLICACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha uno de junio de 2009.

Pablo Antonio Sanchez Pérez

Guatemala, 14 de septiembre de 2010.

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
COORDINADOR ÁREA DE ELECTRÓNICA
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
USAC

Estimado ingeniero Guzmán:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación: "**LA APLICACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN GUATEMALA**", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Electrónica Pablo Antonio Sanchez Pérez, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Sanchez Pérez, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,


Inga. María Magdalena Puente Romero
Colegiado No. 7962

María Magdalena Puente Romero
Ingeniera Electricista
Colegiado No. 7,962



Ref. EIME 31.2010
Guatemala, 11 de OCTUBRE 2010.

FACULTAD DE INGENIERIA

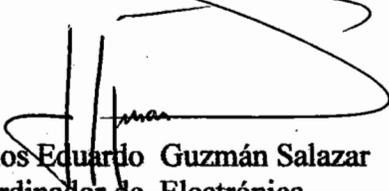
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**“LA APLICACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO
ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO
DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN GUATEMALA, del estudiante,
Pablo Antonio Tánchez Pérez, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica

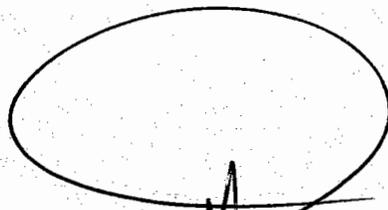
CEGS/sro



DTG. 029.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **LA APLICACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Antonio Sanchez Pérez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 2 de febrero de 2011.



/gdech



REF. EIME 42. 2010.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Pablo Antonio Tanchez Pérez titulado: "LA APLICACIÓN DEL MEDIDOR MONOFÁSICO ELECTRÓNICO DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EN GUATEMALA", procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero



GUATEMALA, 09 DE NOVIEMBRE 2010.

ACTO QUE DEDICO A:

MI FAMILIA

Hoy soy Ingeniero en Electrónica y lo debo a la fuerza de la juventud de mis padres dedicada a mí, lo debo al desgaste de tus ojos a consecuencia del trabajo, lo debo a la forma tan especial en que me han encomendado a Dios; lo debo al amor desde cuando estuve en su vientre, que esto sea una mínima recompensa a sus sacrificios.

AGRADECIMIENTOS

- DIOS** Por estar conmigo en todo momento, darme sabiduría, dirección, fuerza, protección y permitirme lograr este triunfo.
- MIS PADRES** José Antonio Tánchez Lutín, Blanca Estela Pérez Blanco, por sus múltiples sacrificios, apoyo y amor incondicional que me brindaron, a ellos dedico este triunfo alcanzado.
- MIS HERMANOS** Carmen Cristina y Allan Wenceslao.
Con cariño y aprecio, por su comprensión y apoyo.
- MI NOVIA** María Alejandra Santizo Carvajal.
Con cariño y aprecio, por su comprensión y ayuda incondicional para la culminación de mi carrera profesional
- MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS** Otto Mauricio, Manuel Lepe, Luis Raúl, Oscar Gamaliel, Mario Urias, José Andrés, Diana Raquel, Erick Samayoa, Jonathan Navas, Diego de León, Misael Sandoval y a todos los que de una u otra forma contribuyeron con conocimientos, motivación y consejos para alcanzar este triunfo.

**LA UNIVERSIDAD
DE SAN CARLOS**

En especial a la Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de expandir mis conocimientos científicos, técnicos y éticos en tan prestigiosa casa de estudios.

**INGA. MAGDALENA
PUENTE**

Por el apoyo técnico profesional brindado de manera incondicional y por su valiosa asesoría al Presente trabajo de graduación.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización del siguiente trabajo de graduación, que Dios los bendiga y los llene de éxitos en el futuro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1 GENERACIÓN.....	1
1.1 Generación de energía eléctrica	1
1.2 Centrales hidroeléctricas	2
1.3 Principales componentes de una central hidroeléctrica	5
1.3.1 La presa	5
1.3.2 Aliviaderos	5
1.3.3 Tomas de agua.....	5
1.3.4 Casa de maquinas.....	6
1.3.5 Turbinas hidráulicas	6
1.4 Tipos de hidroeléctricas.....	7
1.4.1 Central hidroeléctrica de pasada	7
1.4.2 Central hidroeléctrica con embalse de reserva	7

1.4.3	Centrales hidroeléctricas de bombeo	8
1.5	Centrales hidroeléctricas en Guatemala	8
1.5.1	Hidroeléctrica Los Esclavos.....	8
1.5.2	Hidroeléctrica de Santa María	9
1.5.3	Hidroeléctrica Jurún Marinalá	9
1.5.4	Hidroeléctrica de Aguacapa.....	9
1.5.5	Hidroeléctrica Chixoy.....	10
1.6	Centrales eólicas.....	11
1.7	Centrales fotovoltaicas.....	14
1.8	Generación a pequeña escala.....	16
1.8.1	Grupo electrógeno.....	16
1.8.2	Pila voltaica	17
1.8.3	Pilas de combustible.....	18
1.9	Generador termoeléctrico de radioisótopos (RTG).....	20
2	DISTRIBUCIÓN	21
2.1	Distribución de energía eléctrica.....	21
2.2	Redes de distribución de energía eléctrica	21
2.3	Criterios para el Diseño de Redes de Distribución	22
2.3.1	Técnicas de regulación.....	23
2.3.2	Corrientes de corto circuito.....	23
2.4	Clasificación de los sistemas de distribución de energía eléctrica.....	24
2.4.1	Sistemas de distribución industrial	24

2.4.2	Sistemas de distribución comerciales.....	25
2.4.3	Sistemas de distribución urbano.....	25
2.4.4	Sistemas de distribución rural	25
2.5	Sistemas de protecciones eléctricas	26
2.6	Subestaciones.....	27
2.6.1	Diferentes tipos de subestaciones.....	28
2.7	Clasificación de subestaciones eléctricas	29
2.7.1	Subestaciones receptoras primarias	29
2.7.2	Subestaciones receptoras secundarias.....	29
2.7.3	Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas	30
2.7.4	Subestaciones tipo intemperie.....	30
2.7.5	Subestaciones tipo interior	30
2.7.6	Subestaciones tipo blindado.....	30
2.8	Centros de transformación	31
2.8.1	Transformadores	32
2.8.2	Autotransformador.....	34
3	MEDICIÓN	37
3.1	Medición eléctrica	37
3.2	Clasificación de los instrumentos de medida	38
3.3	Medición con instrumentos electrónicos Analógicos	39
3.3.1	Galvanómetro de D'Arsonval.....	40
3.3.2	Multímetro	41
3.3.3	Multímetro analógico	41

3.4	Medición con instrumentos electrónicos digitales	44
3.4.1	Multímetro digital	45
3.5	Comparación entre medición electrónica analógica y medición electrónica digital.....	49
3.6	Comunicaciones.....	51
3.6.1	Comunicación de datos	51
3.6.2	Puntos de entrega y recepción	55
3.6.3	Modos de transmisión y recepción	56
3.7	Estándares de transmisión y recepción de datos	59
3.8	Medidores por inducción.....	60
3.9	Medidores de potencia	64
3.9.1	Transformadores de potencial	64
3.10	Transformadores de corriente	68
3.11	Amperímetros de inducción	71
3.12	Medidores de energía eléctrica	72
4	ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIOAMBIENTE	75
4.1	Minería energética y medioambiente.....	79
4.1.1	Principales impactos ambientales	79
4.1.2	Corrección de impactos	80
4.2	Centrales térmicas de combustibles fósiles.....	81
4.2.1	Funcionamiento	81
4.2.2	Combustibles fósiles.....	82

4.3	Problemática medioambiental	84
4.3.1	Problemática medioambiental de la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas.....	84
4.3.2	Problemática medioambiental de la generación de electricidad en centrales termoeléctricas.....	86
4.4	Tecnologías correctoras de la incidencia ambiental	88
4.5	Situaciones ambientales de las instalaciones generadoras de energía eléctrica.....	89
4.5.1	Situaciones y problemática medioambiental en generación de energías renovables	89
5	TARIFAS ELÉCTRICAS.....	91
5.1	Tarifa eléctrica y facturación en Guatemala	91
5.2	Sistema nacional interconectado	92
5.3	Cálculos de facturación.....	93
5.3.1	Sector regulado y no regulado	93
5.4	Ajuste de la factura con el pliego tarifario.....	95
6	EL MEDIDOR MONOFÁSICO ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO MEDIO PARA CONTROLAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	99
6.1	Trasformador sensor de corriente toroidal.....	100
6.1.1	Pinza anemométrica de núcleo de hierro	100
6.1.2	Incidencia del entrehierro	102
6.1.3	Sensibilidad posicional	105

6.2	Transductor de núcleo de aire o bobina de Rogowski	105
6.3	Transductor de mínima incertidumbre o TI-Q.....	107
6.4	Microcontrolador.....	109
6.4.1	Microcontrolador PIC.....	111
6.5	Diseño del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica como medio para controlar el consumo de energía eléctrica.....	115
6.5.1	Descripción del <i>Software</i>	118
6.6	Beneficios de la utilización del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica.....	121
6.6.1	Beneficios en el hogar	121
6.6.2	Beneficios para la industria.....	122
CONCLUSIONES		123
BIBLIOGRAFÍA		127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Esquema básico de una hidroeléctrica	4
2	Mapa de hidroeléctricas en el país	10
3	Esquema básico de una central eólica	13
4	Esquema básico de una central fotovoltaica.....	15
5	Pila voltaica.....	18
6	Pila de combustible	19
7	Diagrama generador termoeléctrico de radioisótopos (RTG).....	20
8	Elementos de una subestación	31
9	Diagrama eléctrico de un transformador	33
10	Esquema de conexión de un autotransformador	35
11	Galvanómetro de D'Arsonval	41
12	Multímetro analógico.....	42
13	Multímetro digital.....	46
14	Instrumento electrónico analógico	50
15	Instrumento electrónico digital	50
16	Modelo simplificado para las comunicaciones.	53
17	Transmisión paralela.....	56
18	Transmisión serial.....	57
19	Formato de un carácter.....	58
20	Elemento infinitesimal de longitud dl de la bobina	62
21	Circuito equivalente de un transformador ideal.....	65

22	Diagrama fasorial de un transformador ideal	66
23	Curvas típicas de error de ángulo de fase de un transformador de potencia ..	67
24	Principales impactos ambientales por el sector eléctrico	77
25	Factura de energía eléctrica domiciliar	96
26	Diagrama de bloques del medidor monofásico de energía eléctrica.....	100
27	Permeabilidad magnética del hierro	101
28	Esquema de una pinza amperométrica de núcleo de hierro.	104
29	Esquema de un transductor de núcleo de aire o bobina de Rogowski.....	106
30	Esquema de un transductor de mínima incertidumbre TI-Q.....	108
31	Esquema de un microcontrolador	110
32	Microcontrolador PIC	111
33	Diagrama interno de un microcontrolador PIC	113
34	Diagrama de bloques de dispositivos utilizados medidor monofásico electrónico de energía eléctrica	115
35	Comportamiento pinza amperométrica de núcleo de hierro tipo PT	117
36	Comportamiento del Pic con relación a su Programación.....	119

TABLAS

I	Tareas en los sistemas de comunicación.....	54
II	Normas IEEE 57.13-1993 para transformadores de potencia.....	68
III	Normas IEEE 57.13-1993 para transformadores de corriente.....	69
IV	Factores de corrección para T.C.....	70
V	Factores de corrección para T.P.....	70
VI	Principales impactos potenciales sobre el medioambiente en el sector.....	78
VII	Ventajas y desventajas de energías renovables por incidencia ambiental.....	90
VIII	Tarifa social DEOCSA, DEORSA y EEGSA.....	94
IX	Tarifa social DEOCSA, DEORSA y EEGSA.....	95
X	Error relativo porcentual medio para diferentes condiciones de entrehierro.....	104
XI	Diferentes aspectos evaluados para cada tipo de transformador sensor de corriente toroidal.....	109
XII	Comportamiento pinza amperométrica de núcleo de hierro tipo PT.....	116
XIII	Comportamiento del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica.....	120

GLOSARIO

AC	Término utilizado para denominar a la corriente alterna.
Alternador	Maquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.
Amplificador	Dispositivo semiconductor cuya función es incrementar la intensidad de corriente, la tensión o la potencia de la señal que se le aplica a su entrada, obteniéndose, la señal aumentada a la salida.
DC	Término utilizado para denominar corriente directa.
Diodo	Dispositivo semiconductor que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección con características similares a un interruptor.
Diodo Zener	Diodo de silicio que se ha construido para que funcione en las zonas de rupturas, llamado, a veces, diodo de avalancha o de ruptura; el diodo zener es la parte esencial de los reguladores de tensión casi constantes, con independencia de que se presenten

grandes variaciones de la tensión de red, de la resistencia de carga y temperatura.

Efecto Seebeck Se conoce como efecto termoelectrico o efecto Seebeck a la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad.

kVA Término utilizado para denominar la escala de medición de la potencia aparente, dado en kilo voltios ampere

kVAR Término utilizado para denominar la escala de medición de la potencia reactiva, dado en kilo voltios ampere reactivo.

kW Término utilizado para denominar la escala de medición de la potencia activa, dado en kilo watt.

LCD Una pantalla de cristal líquido o LCD (*Liquid Crystal Display*) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo, se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

Puente de Diodos También llamado rectificador, es un dispositivo semiconductor que permite convertir corriente alterna

en corriente continua. Esto lo realiza utilizando diodos rectificadores de estado sólido o válvulas al vacío.

Solenoide

Alambre enrollado en forma de hélice sobre un cilindro, el cual, al ser recorrido por una corriente eléctrica, el mismo produce un campo magnético dentro del cilindro, puede ser utilizado para proporcionar movimiento lineal si se le añade un núcleo adecuado.

RESUMEN

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene variaciones a lo largo del día. Esta variación es función de algunos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o de calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que se encuentre instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar el suministro.

En Guatemala, la red nacional de energía está constituida por equipos eléctricos desde las plantas generadoras de electricidad hasta los transformadores y tendido eléctrico, colocados en postes de electrificación que se visualizan en calles o avenidas. Dichos transformadores son del tipo banco trifásico con unidades monofásicas, y son los que alimentan las casas del usuario final. Una red eléctrica puede entenderse como un circuito eléctrico de serie paralela más compleja; voltajes y corrientes, así como potencia fluyen desde las plantas de generación eléctrica, hasta nuestras casas. Aunque no es objeto de estudio más profundo en esta investigación, la empresa de comercialización de electricidad está en constante control de la red nacional y del flujo de potencia entre distintos puntos.

Se debe tener presente que los precios de generación entre las plantas puede variar, ya que el precio es diferente a distintas horas del día. Se puede mencionar la hora pico que se encuentra en un horario diurno de 6:00 am a 6:00 pm, la hora de menor demanda, en horario nocturno de 7:00 pm a 5:00 am y, por

último, la hora de punta, situada en horarios de mayor demanda y donde se generan grandes demandas de energía eléctrica en horarios específicos del día: 6:00 am, 12:00 pm, 6:00 pm, por lo tanto, hay que considerar que el precio por kWh de energía varía de una planta generadora a otra, de acuerdo con la forma en que generan energía por ejemplo, se pueden encontrar plantas hidráulicas que generan energía a precios más bajos que aquellas del tipo térmicas, plantas eólicas o alternativas como la solar.

Por ello, la medición de la energía eléctrica consumida es de suma importancia e interés por parte de los consumidores y, a la vez, de las empresas comercializadoras de energía eléctrica. El vatímetro es el instrumento empleado para dicha medición y, en particular, el de tipo electromecánico que es un medidor de consumo de energía eléctrica, el cual utiliza embobinados de corriente y de voltaje, para crear corrientes parasitas en un disco que, bajo la influencia de campos magnéticos, produce un giro que mueve las agujas de la carátula. El vatímetro electromecánico es el dispositivo de consumo de energía eléctrica más utilizado a nivel residencial, el cual puede ser del tipo monofásico o polifásico, de acuerdo con la carga instalada; a nivel industrial se utilizan medidores de estado sólido o electrónicos digitales, los cuales proporcionan una medición más precisa.

Es importante mencionar que, debido a la forma de procesamiento de la información en los diseños electrónicos digitales, se pueden incluir características adicionales para los vatímetros como, el despliegue de datos en una pantalla *LCD*, esto hace que, visualmente, sea más clara y concisa la lectura de datos; además, el procesamiento de datos hace que la medida de potencia sea más precisa y exacta en un tiempo determinado, lo que provoca, en ellos, mayor versatilidad.

Por lo tanto, el medidor monofásico electrónico digital de energía eléctrica que el usuario coloca en el distribuidor de energía eléctrica en el hogar o en la empresa, está diseñado, básicamente, para controlar el consumo de energía eléctrica y con ello poder comparar con el medidor de energía eléctrica que suministra la empresa comercializadora de energía eléctrica.

Para lograr un ahorro significativo en el recibo de cobro de energía eléctrica, es necesario hacer conciencia en el usuario, del consumo generado por los distintos equipos que se encuentran conectados.

OBJETIVOS

General

Mostrar los beneficios que conlleva la aplicación de un medidor monofásico electrónico de energía eléctrica, que el usuario coloca, en el distribuidor de energía eléctrica en el hogar o en la empresa, para llevar un mejor control del consumo de energía en el hogar y en las industrias.

ESPECÍFICOS

1. Mostrar las aplicaciones del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica
2. Mostar el funcionamiento del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica
3. Establecer la conveniencia que conlleva la utilización del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica en el hogar y en la industria
4. Determinar que la aplicación del medidor sirva para el control de la economía en gasto de energía eléctrica, así como del ahorro energético, con el propósito de contribuir con la conservación del medioambiente y del equilibrio ecológico.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene el propósito de determinar la importancia que tendría para la población guatemalteca, implementar un dispositivo electrónico que sea capaz de medir el consumo de energía eléctrica en un hogar o en una empresa y, de esta forma, contribuir con el control del consumo de la misma.

El tipo de instalación de energía eléctrica que hay en una vivienda normal para alimentar todos los electrodomésticos y el alumbrado es de corriente alterna de 120 voltios y, en instalaciones especiales de 220 voltios de corriente alterna, los cuales constan de dos hilos: la línea viva y la línea neutra. Sin embargo, un ciudadano común no conoce más allá de los datos que contempla el recibo de la energía eléctrica, y sobre todo lo estimable en valor monetario. La idea es que los usuarios se comprometan en el ahorro de la energía eléctrica, y una forma muy eficaz sería la aplicación de medidores monofásicos electrónicos, que se puedan conectar a la línea que va directo hacia la caja de distribución.

Básicamente, el uso de este dispositivo es para que cualquier persona pueda llevar un control del consumo de energía eléctrica por hora, por día, por semana, etcétera, en su hogar o empresa, y por qué no, del gasto que esto le representará a final de mes. De esta forma, también se estaría contribuyendo a hacer más transparente el cálculo de las tarifas, por parte de la empresa de comercialización de energía eléctrica.

1 GENERACIÓN

1.1 Generación de energía eléctrica

La generación de energía eléctrica, consiste en transformar algún tipo de energía, sea ésta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas y constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene variaciones a lo largo del día. La variación está en función de algunos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que se haya instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar el suministro. Esto conlleva la generación de energía eléctrica con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos.

La energía eléctrica puede obtenerse libremente de la naturaleza. Los ejemplos más relevantes son: Las centrales generadoras termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleares, eólicas, solares termoeléctricas, solares fotovoltaicas y mareomotrices, que aprovechan fenómenos naturales como tormentas

eléctricas, el caudal del agua, el caudal y velocidad del viento, la temperatura o luz solar. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los tres primeros tipos de centrales generadoras presentadas anteriormente. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador, movido mediante una turbina, que será distinta, dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

1.2 Centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es aquella que aprovecha energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Estas son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda.

En general estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual trasmite la energía mecánica a un alternador el cual la convierte en energía eléctrica.

Ventajas de las centrales hidroeléctricas:

- No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente reabastecida por la naturaleza de manera gratuita.

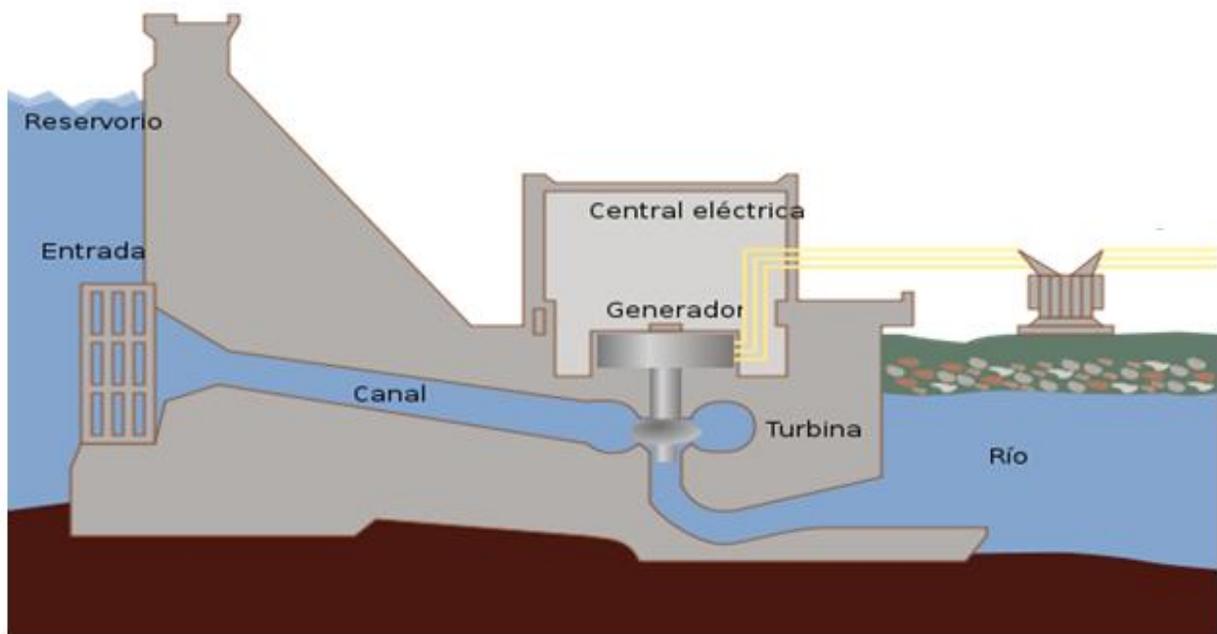
- A menudo puede combinarse con otros beneficios como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia, siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos.

Desventajas de las centrales hidroeléctricas:

- Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica dependen del estudio técnico de Pre factibilidad, éste contiene análisis de impacto ambiental, de suelos y de obra civil, pero por lo general tiene una duración de 3 a 10 años, aproximadamente, por lo cual conlleva a mucho tiempo en su construcción.
- Los costos de instalación iniciales son muy altos.
- Su ubicación, condicionada por la geografía natural, suele estar a una gran distancia de los centros de consumo y obliga a construir un sistema de transmisión de electricidad que contamina el medioambiente, aumentando los costos de inversión y de mantenimiento, también aumentando la pérdida de energía.
- La disponibilidad de energía puede fluctuar, de acuerdo con el régimen de lluvias, de estación en estación y de año en año.

- Muchos aspectos ambientales se ven afectados por la implementación de este tipo de centrales, como lo es el suelo, por el acondicionamiento de tuberías y obras civiles que requiera la central hidroeléctrica; el aire es contaminado por emisiones de gases durante la construcción y producto de motores de combustión y, por último, el agua inunda muchas hectáreas de terreno y esta afecta la flora y la fauna que se encuentre alrededor de dicha central hidroeléctricas.

Figura 1. Esquema básico de una hidroeléctrica



Fuente: http://Hydroelectric_dam.svg

1.3 Principales componentes de una central hidroeléctrica

1.3.1 La presa

El primer elemento que se encuentra en una central hidroeléctrica es la presa, que se encarga de frenar la corriente del río y remansar las aguas. Con estas construcciones se logra un determinado nivel del agua antes de la contención, y otro nivel diferente después de la misma. Ese desnivel se aprovecha para producir energía.

Las presas pueden clasificarse por el material empleado en su construcción:

- Presa de tierra
- Presa de Concreto

1.3.2 Aliviaderos

Son elementos vitales de la presa que tienen como misión liberar parte del agua detenida sin que esta pase por la sala de máquinas. Se encuentran en la pared principal de la presa y pueden ser de fondo o de superficie.

1.3.3 Tomas de agua

Son construcciones adecuadas que permiten recoger el líquido para llevarlo hasta las máquinas por medios de canales o tuberías.

Las tomas de agua, de las que parten varios conductos hacia las tuberías, se hallan en la pared anterior de la presa, la cual entra en contacto con el agua embalsada. Esta toma, además de unas compuertas para regular la cantidad de

agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas metálicas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. puedan llegar a los álabes y producir desperfectos.

1.3.4 Casa de máquinas

Construcción en donde se ubican las máquinas (turbinas, alternadores, etc.) y los elementos de regulación y comando.

1.3.5 Turbinas hidráulicas

Aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, son el órgano fundamental de una central hidroeléctrica.

Hay tres tipos de turbinas hidráulicas:

- La Rueda de Peltón
- La Turbina Francis
- La Turbina de Kaplan o de hélice

El tipo más conveniente dependerá en cada caso del salto de agua y de la potencia de la turbina. En términos generales puede decirse que:

- La rueda de Peltón se utiliza para grandes presiones de agua para su generación.
- La turbina de Francis se utiliza para intermedias presiones de agua para su generación.

- La turbina de Kaplan o de hélice se utiliza para pequeñas presiones de agua para su generación.

1.4 Tipos de hidroeléctricas

1.4.1 Central hidroeléctrica de pasada

Es aquella en la que no existe una acumulación apreciable de agua de las turbinas. En una central de este tipo las turbinas deben aceptar el caudal disponible del río, con sus variaciones de estación en estación o de lo contrario el agua sobrante se pierde por rebosamiento.

1.4.2 Central hidroeléctrica con embalse de reserva

En este tipo de proyecto se embalsa un volumen considerable de líquido de las turbinas mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales.

El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas. Del volumen embalsado depende la cantidad que puede hacerse pasar por las turbinas. Con embalse de reserva puede producirse energía eléctrica durante todo el año aunque el río se seque por completo durante algunos meses, cosa que sería imposible en un proyecto de pasada.

1.4.3 Centrales hidroeléctricas de bombeo

Son un tipo especial de centrales hidroeléctricas que posibilitan un empleo más racional de los recursos hidráulicos en un país. Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, las centrales de bombeo funcionan como una central convencional generando energía. Al caer el agua, almacenada en el embalse superior, hace girar la turbina asociada a un alternador, quedando ésta almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día en la que la demanda de energía es menor el agua es bombeada al embalse superior para que pueda hacer el ciclo productivo nuevamente.

1.5 Centrales hidroeléctricas en Guatemala

Las centrales hidroeléctricas de Guatemala son parte esencial para la producción de la energía eléctrica del país. En Guatemala funciona el Instituto nacional de electrificación de Guatemala (INDE), ente encargado de la producción, transporte y comercialización de energía eléctrica, cuyo departamento de registro y estadística brinda la siguiente información sobre las diferentes hidroeléctricas del país.

1.5.1 Hidroeléctrica Los Esclavos

Se encuentra ubicada en el municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa. En verano se utiliza como una central de regulación diaria y en invierno a filo de agua.

El agua es conducida a través de un canal a cielo abierto de 1.335 Km hasta la tubería forzada, con 0.175 km de longitud, hasta llegar a la casa de

máquinas en donde se encuentran dos unidades tipo Francis de eje vertical con una capacidad de 7 MW por unidad.

1.5.2 Hidroeléctrica de Santa María

Esta central se ubica en el municipio de Zunil, departamento de Quetzaltenango y fue puesta en servicio en 1927. La casa de máquinas cuenta con tres unidades generadoras de diferente capacidad instalada; la unidad No. 1 con 2.48 MW, las unidades Nos. 2 y 3 con 2.2 MW.

1.5.3 Hidroeléctrica Jurún Marinalá

Esta central se encuentra ubicada en la aldea Agua Blanca, interior de la finca el Salto, departamento de Escuintla; clasificada como una central de regulación diaria esto quiere decir que se llena durante el día y se utiliza durante las horas de mayor demanda (entre las 18:00 a 22:00 horas), para luego repetir el ciclo. Cuenta con tres turbinas generadoras tipo Peltón de eje horizontal, con una capacidad de 20 MW por unidad.

1.5.4 Hidroeléctrica de Aguacapa

Esta central se encuentra ubicada en el departamento de Escuintla y está clasificada como una central de regulación diaria. Cuenta con tres turbinas generadoras tipo Peltón de eje horizontal, con una capacidad de 30 MW cada una.

1.5.5 Hidroeléctrica Chixoy

Esta central se encuentra ubicada en la aldea Quixal, municipio San Cristóbal, departamento de Alta Verapaz. Cuenta con cinco turbinas generadoras, con una capacidad máxima de 55 MW cada una. Posee un embalse de regulación anual, esto quiere decir que permite regular los caudales acumulados dentro del año; cubren la demanda básica y la de las horas pico, entre 18:00 y 22:00 horas.

Figura 2. Mapa de hidroeléctricas en el país



1. Hidroeléctrica Los Esclavos, 2. Hidroeléctrica Santa María, 3. Hidroeléctrica de Chixoy, 4. Hidroeléctrica de Aguacapa, 5. Hidroeléctrica de Jurún Marinalá.

Fuente: <http://www.inde.gob.gt>

1.6 Centrales eólicas

La energía eléctrica eólica es la energía obtenida aprovechando la fuerza mecánica del viento, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar las centrales termoeléctricas, las cuales generan energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, mediante la combustión a base de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

Ventajas de la energía eléctrica eólica:

- Es una energía limpia ya que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- No requiere una combustión que produzca dióxido de carbono (CO₂), por lo que no contribuye al incremento del efecto invernadero ni al cambio climático.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.

- Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, papas, remolacha, etc.
- Crea un elevado número de puestos de trabajo en las plantas de ensamblaje de equipos y las zonas de instalación.
- Las centrales eólicas implican muy poco tiempo en su construcción.

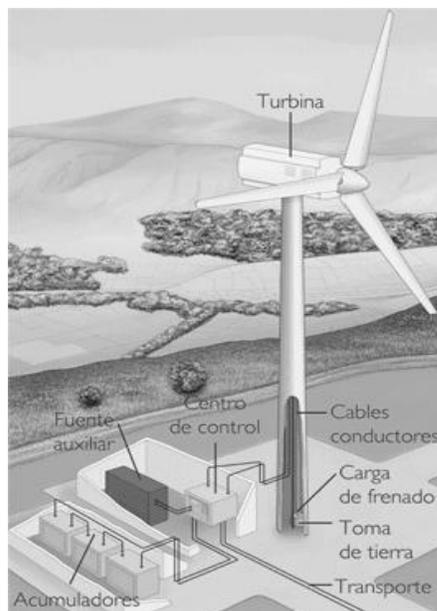
Desventajas de las centrales eólicas:

- Técnicamente, uno de los mayores inconvenientes de los aerogeneradores es el llamado hueco de tensión, el cual reduce bruscamente la tensión en una fase de la red eléctrica y afecta fundamentalmente el área electrónica de pequeño consumo, produciendo paradas de los aparatos eléctricos conectados a la red. Ante uno de estos fenómenos, las protecciones de los aerogeneradores con motores de jaula de ardilla se desconectan de la red para evitar ser dañados y, por tanto, provocan nuevas perturbaciones en la red, en este caso, de falta de suministro.
- Otro de los grandes inconvenientes de este tipo de generación es la dificultad intrínseca de prever la generación con antelación. Dado que los sistemas eléctricos son operados calculando la generación con un día de antelación en vista del consumo previsto, la aleatoriedad del viento plantea serios problemas, por lo cual es necesario hacer estudios del comportamiento del viento de la zona donde van a ser instalados por varios años.
- Una máquina puede estar generando al máximo de su potencia, pero si el viento aumenta lo justo para sobrepasar las especificaciones del molino, es obligatorio desconectar ese circuito de la red o cambiar la

inclinación de las aspas para que dejen de girar, puesto que con viento de altas velocidades la estructura puede resultar dañada por los esfuerzos que aparecen en el eje.

- Contaminación visual y de sonido en las zonas que se utiliza este equipo, en caso de poblaciones cercanas donde se encuentren este tipo de centrales.

Figura 3. Esquema básico de una central eólica



Fuente: [http://pe.kalipedia.com/entral eólica](http://pe.kalipedia.com/entral_eolica)

1.7 Centrales fotovoltaicas

Se denomina energía solar fotovoltaica a una forma de obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos.

El proceso simplificado es el siguiente: se genera la energía a base de paneles de celdas solares y se generan a bajas tensiones en la escala de los 380-800 V en corriente continua. Por medio de un inversor se transforma en corriente alterna a partir de la corriente continua. Mediante un centro de transformación se eleva a medias tensiones en la escala de los 15 ó 25 Kv y se inyecta en las redes de transporte del sistema de distribución de la compañía. En poblaciones con sistemas donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red de distribución de energía eléctrica es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable para la generación y suministros de energía eléctrica.

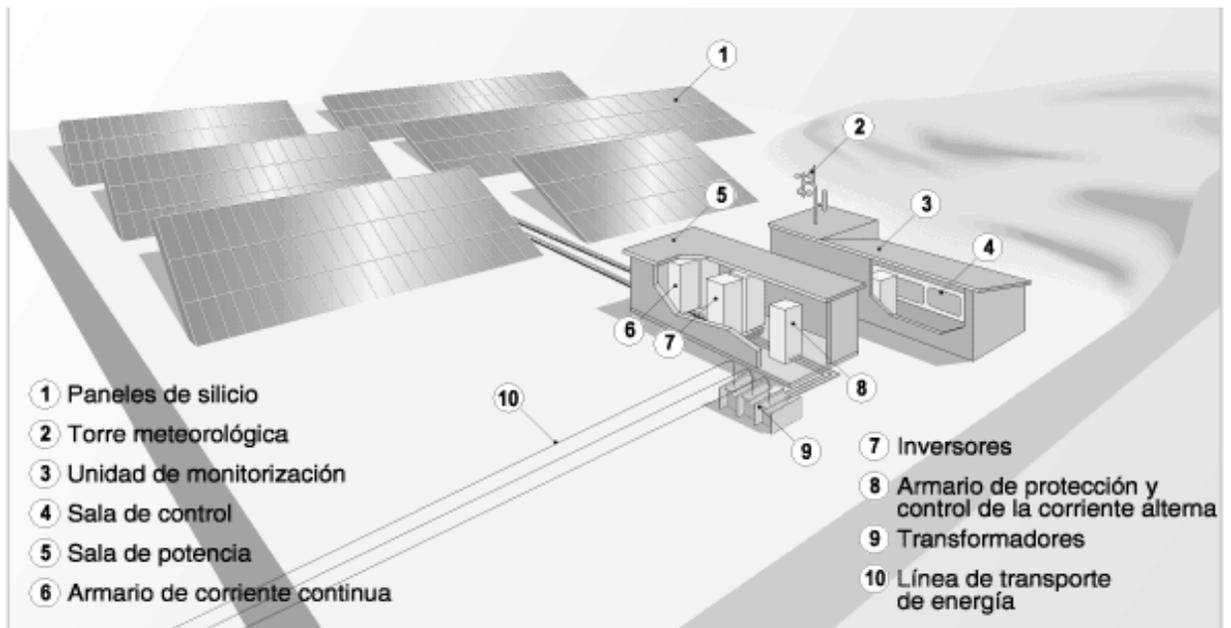
Ventajas de las centrales fotovoltaicas:

- Son silenciosas y respetuosas con el medioambiente.
- Se requiere muy poco tiempo para su construcción dependiendo del tipo de central fotovoltaica, ya sea para una industria o un domicilio y dependiendo de su región geográfica es aproximadamente de 1 a 3 años para su construcción.
- Se pueden colocar varias celdas fotovoltaicas en diferentes partes y en cualquier región.

Desventajas de las centrales fotovoltaicas:

- Los paneles solares son muy caros.
- Tiene limitaciones en la cantidad de energía eléctrica producida, esto quiere decir que hay que moderar el uso de aparatos que consumen mucha energía eléctrica.

Figura 4. Esquema básico de una central fotovoltaica



Fuente: <http://vazparfotos.tripod.com/adm/interstitial/remote.jpg>

1.8 Generación a pequeña escala

1.8.1 Grupo electrógeno

Un grupo electrógeno, también llamado planta generadora de emergencia, es una máquina que mueve un generador de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna. Normalmente se utiliza cuando hay déficit en la generación de energía de algún lugar o cuando hay un corte en el suministro eléctrico y es necesario mantener la actividad. Una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro a través de la red eléctrica. Generalmente son zonas agrícolas con poca infraestructura o viviendas aisladas. Otro caso es en lugares públicos como lo son hospitales, fábricas, etc., que, a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse en caso de emergencia. Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

- Motor de combustión interna
- Sistema de refrigeración del motor
- Regulación del motor de combustión
- Depósito de combustible
- Alternador
- Sistema de control de la generación eléctrica
- Interruptor automático de salida

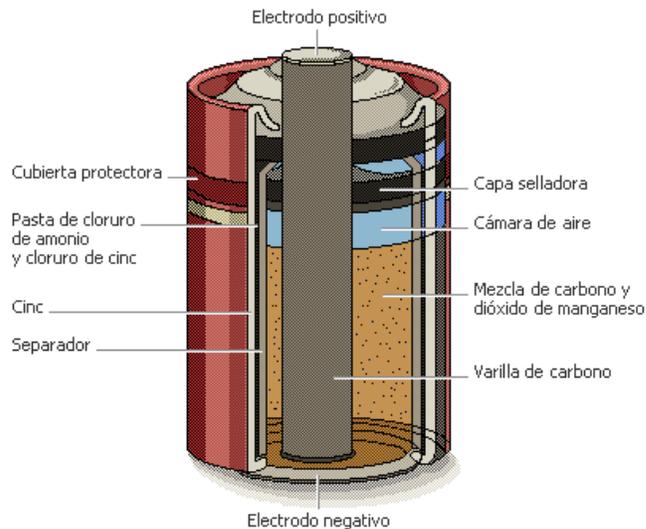
1.8.2 Pila voltaica

Se denomina ordinariamente pila eléctrica a un dispositivo que genera energía eléctrica mediante un proceso químico transitorio, tras el cual cesa su actividad y han de renovarse sus elementos constituyentes; puesto que sus características resultan alteradas durante su funcionamiento, se trata por ello de un generador primario. La electricidad producida resulta accesible mediante dos terminales que tiene la pila, llamados polos, electrodos o bornes. Uno de ellos es el polo positivo o ánodo y el otro es el polo negativo o cátodo.

El funcionamiento de una pila voltaica básicamente convierte energía química en energía eléctrica por medio de un proceso transitorio, siendo su estructura fundamental dos piezas de metales diferentes introducidas en un líquido conductor llamado electrolito. Para lograr la tensión adecuada se pueden realizar conexiones en serie o paralelo, por ejemplo: si conectamos dos o más pilas voltaicas en serie, el voltaje en los extremos aumenta y la corriente permanece igual o si se desea una corriente más elevada pero con un voltaje constante, se colocan dos o más pilas voltaicas de la misma magnitud de voltaje en paralelo.

La capacidad total de una pila se mide en amperios-hora, se define como el número máximo de amperios que el elemento puede suministrar en una hora. Es un valor que no suele conocerse, ya que no es muy claro dado que depende de la intensidad y la temperatura.

Figura 5. Pila voltaica



Fuente: <http://despertandoconcienciaplanetaria.wikispaces.com/file/view/pilanu.JPG>

1.8.3 Pilas de combustible

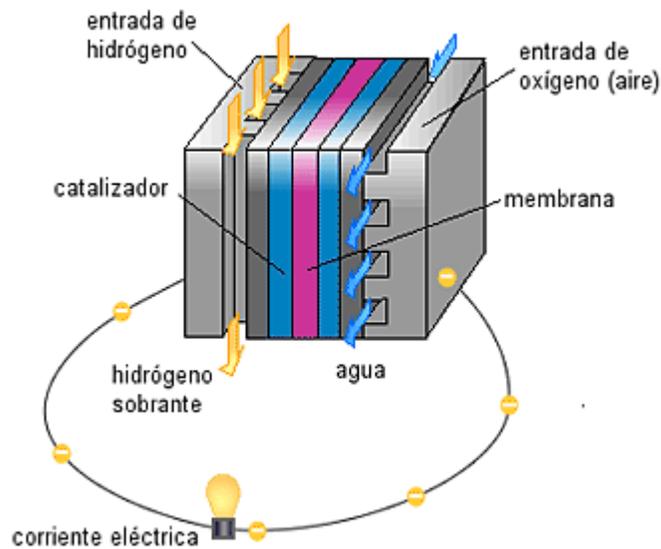
Una pila de combustible, también llamada célula o celda de combustible, es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a un acumulador, pero se diferencia de esta última en que está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos, es decir, produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee un acumulador. Además, los electrodos en un acumulador reaccionan y cambian según cómo esté (cargado o descargado), en cambio en una celda de combustible los electrodos son catalíticos, esto quiere decir que acelera o retarda un proceso químico relativamente estable.

Los reactivos típicos utilizados en una celda de combustible son: hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo. Por otra parte, las baterías convencionales consumen reactivos sólidos y una vez que se han agotado deben ser eliminadas o recargadas con electricidad.

Aplicaciones:

- Plantas de potencia
- Vehículos eléctricos
- Sistemas auxiliares de energía
- Sistemas de apoyo a la red eléctrica

Figura 6. Pila de combustible



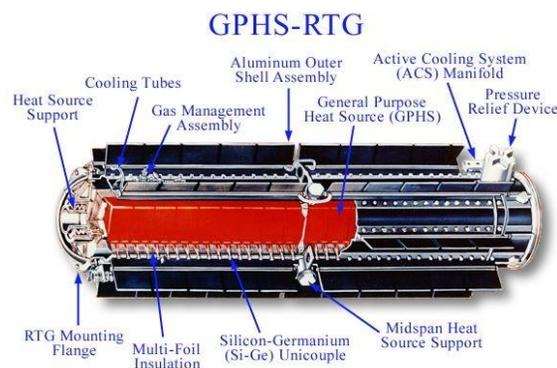
Fuente: <http://static.consumer.es/www/imgs/2006/11/biobat3.gif>

1.9 Generador termoelectrico de radioisotopos (RTG)

Un generador termoelectrico de radioisotopos es un generador electrico simple que obtiene su energia por el calor liberado debido a la desintegracion de un material radiactivo; se convierte en electricidad directamente al uso de una serie de termopares que convierten calor en electricidad directamente, gracias al efecto Seebeck.

Los RTG se pueden considerar un tipo de bateria y se han usado en satelites, sondas espaciales no tripuladas e instalaciones remotas que no disponen de otro tipo de fuente electrica o de calor. Los RTG son los dispositivos mas adecuados en situaciones donde no hay presencia humana y se necesitan potencias de varios centenares de vatios durante largos periodos de tiempo, situaciones en las que los generadores convencionales como las pilas de combustible o las baterias no son viables economicamente y donde no pueden usarse celulas fotovoltaicas.

Figura 7. Diagrama generador termoelectrico de radioisotopos (RTG)



Fuente: <http://saturn.jpl.nasa.gov/spacecraft/safety.cfm>

2 DISTRIBUCIÓN

2.1 Distribución de energía eléctrica

Un sistema de distribución de energía eléctrica es un conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y confiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de voltaje, ubicados generalmente en diferentes lugares.

Desde las subestaciones ubicadas cerca de las áreas de consumo el servicio eléctrico es responsabilidad de la compañía distribuidora, que ha de construir y mantener las líneas necesarias para llegar a los clientes. Estas líneas, con distintos valores de voltaje y las instalaciones en que se reduce el voltaje hasta los valores utilizables por los usuarios, constituyen la red de distribución. Las líneas de la red de distribución pueden ser aéreas o subterráneas.

2.2 Redes de distribución de energía eléctrica

La red de distribución de la energía eléctrica o sistema de distribución de energía eléctrica es un subsistema del sistema eléctrico de potencia, cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.

Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

- Subestación de distribución
- Circuito primario
- Circuito secundario

El primer elemento está constituido por la red de reparto que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 kV y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, siendo la última etapa del suministro en media tensión, ya que los voltajes de estos centros son relativamente muy bajos.

2.3 Criterios para el Diseño de Redes de Distribución

Para el criterio de diseño de redes de distribución se toman en cuenta varios factores, los cuales se denominan de la siguiente manera:

- Técnicas de Regulación
- Criterio Económico
- Corrientes de Cortocircuito.

2.3.1 Técnicas de regulación

Las técnicas de regulación se relacionan con la caída de tensión en los conductores de una red determinada, en generadores y transformadores eléctricos. No resulta conveniente que haya una caída de tensión excesiva en el conductor porque el usuario final o transformador de Media Tensión a Baja Tensión estaría alimentado por un valor reducido de tensión muy distinto al valor asignado.

2.3.2 Corrientes de corto circuito

Las corrientes de cortocircuito para fallas fase a fase estarán limitadas únicamente por las impedancias de la fuente, de la línea y de la propia falla, así que, en la medida que la fuente disponga de más potencia de cortocircuito, circulará por la línea mayor corriente.

Las corrientes de cortocircuito fase a tierra están limitadas por todas las razones anteriores pero además por el sistema de puesta a tierra del neutro de la red. Existen diversas maneras de realizarlo para producir las mínimas corrientes y máximas sobretensiones, quizá recomendable para distribuciones no muy extensas y que la necesidad de continuar con la línea en falla en servicio sea sumamente importante. La detección de la falla de una forma selectiva tiene cierta complicación, ya que producen las máximas corrientes y mínimas sobretensiones, las cuáles pueden ser seccionadas a puestas a tierra mediante dispositivos semiautomáticos o automáticos de detección de fallas. No obstante, se recomienda que se haga la transferencia a una línea nueva en el menor tiempo posible.

Otras formas intermedias de tratamiento del neutro son: "Pat resistivo", "Pat inductivo". Pat resistivo significa "Corriente muy limitada a unos pocos amperios " y Pat inductivo significa "Corriente menos limitada a unos cientos de amperios" o "Corriente muy limitada a unos pocos amperios y conectándola casi directamente a tierra durante pequeños lapsos de tiempo", todos ellos se pueden acercar más al sistema aislado o al sistema puesto a tierra y cada diseñador de la Red debe verificar detenidamente las desventajas y ventajas de cada sistema en su caso particular.

2.4 Clasificación de los sistemas de distribución de energía eléctrica

Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados y las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en:

- Industriales.
- Comerciales.
- Urbano.
- Rural.

2.4.1 Sistemas de distribución industrial

Comprende a los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como las industrias del acero, químicas, petróleo, papel, etc.; que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión. Es frecuente que la industria genere parte de su demanda de energía eléctrica mediante plantas generadoras de procesos a vapor, gas o diesel.

2.4.2 Sistemas de distribución comerciales

Es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos marítimos, etc. Este tipo de sistemas tienen sus propias características, como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes, por lo que generalmente requieren de importantes fuentes de respaldo en casos de emergencia.

2.4.3 Sistemas de distribución urbana

Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de cargas pequeña. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento del sistema de distribución.

2.4.4 Sistemas de distribución rural

Estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el costo del kilowatt hora consumido.

En muchos casos es justificado, desde el punto de vista económico, la generación local en una fase inicial y sólo en una fase posterior puede resultar económica y práctica la interconexión para formar una red grande.

2.5 Sistemas de protecciones eléctricas

Las protecciones eléctricas juegan un papel fundamental en el desempeño de los sistemas de energía.

Los sistemas de protecciones eléctricas no solo realizan la función de proteger nuestros equipos y a nuestro personal, sino también ofrece datos útiles para el análisis de fallas y registro de eventos.

Ahora bien, si la tecnología crece en confiabilidad y precisión, siempre estará el factor humano que induce que los sistemas diseñados como perfectos no se comporten como tal, produciéndose así actuaciones erróneas en operaciones y malos funcionamientos que ponen en riesgo la integridad del equipo y del personal durante la presencia de una falla.

El sistema de protecciones de un transformador, motor, generador, alimentador, de una línea o de cualquier equipo, que este protegido por protecciones eléctricas, debe ser tratado con sumo cuidado, pensando que las funciones de estos impedirán que se dañe un equipo o que una persona sufra un accidente.

2.6 Subestaciones

Una subestación eléctrica es usada para la transformación de la tensión de la energía eléctrica. El componente principal de una subestación eléctrica es el transformador.

Las subestaciones eléctricas elevadoras se ubican en las inmediaciones de las centrales eléctricas para aumentar la tensión de salida de sus generadores. Los niveles de tensión normalizados más habituales son 15, 20, 66, 132, 220 y 400 kV. De ellos, los dos últimos corresponden a la red de transporte gestionada y operada por red eléctrica y el resto son de la red de distribución.

Cerca de las poblaciones y de los consumidores, se encuentran las subestaciones eléctricas reductoras que reducen el nivel de tensión para que sea apto para su uso por medianos consumidores (fábricas, centros comerciales, hospitales, etc.). Dicha reducción tiene lugar entre tensiones de transporte (400 o 220kV) a tensiones de distribución. Repartidos en el interior de las ciudades existen centros de transformación (CT's) que bajan la tensión a 400V en trifásica (tres fases y neutro), la cual es apropiada para su distribución a pequeños consumidores, entre los que se encuentra el consumo doméstico. Para este tipo de consumo se utiliza en cada vivienda una fase y el neutro, por lo que la tensión que se mide con un voltímetro es de 220 V.

La razón técnica para realizar esta operación es la conveniencia de transportar la energía eléctrica a largas distancias, por medio de tensiones elevadas, para reducir las pérdidas resistivas por efecto Joule que dependen de la intensidad de corriente.

Las líneas de la subestación eléctrica están protegidas por equipos con dos principios de funcionamiento fundamentales: diferencial de línea y distancia. En el primer caso se compara la intensidad de ambos extremos de la línea en cada instante y se comprueba que coincidan, mientras que en el segundo se obtiene la impedancia de la línea realizando el cociente entre tensión e intensidad para verificar que se encuentre entre unos valores predeterminados.

También poseen aparatos de maniobra tanto en carga (interruptores) como sin cargas, (seccionadores) y de medida llamados transformadores de intensidad y de tensión. Asimismo es necesario establecer comunicaciones entre las subestaciones que se encuentran en los extremos de las líneas y ésta puede realizarse bien mediante fibra óptica, comunicaciones en alta frecuencia a través de la misma línea (onda portadora) o por un enlace de radio.

2.6.1 Diferentes tipos de subestaciones

Las subestaciones se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de función que desarrollan, en tres grupos:

- Subestaciones vareadoras de tensión
- Subestación elevadora: subestación de transformación donde la potencia de salida de los transformadores está a una tensión más alta que la potencia de entrada
- Subestación reductora: subestación de transformación donde la potencia que sale de los transformadores tiene una tensión más baja que la potencia de entrada.

- Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito.
- Subestaciones mixtas (Generación y Transformación).

De acuerdo con la potencia y tensión que manejan las subestaciones, éstas se pueden agrupar en:

- Subestaciones de transmisión. Arriba de 230 kV.
- Subestaciones de subtransmisión. Entre 230 y 115kV.
- Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 y 23 kV.
- Subestaciones de distribución secundaria. Debajo de 23 kV.

2.7 Clasificación de subestaciones eléctricas

Las subestaciones eléctricas pueden clasificarse como:

2.7.1 Subestaciones receptoras primarias

Se alimentan directamente de las líneas de transmisión y reducen la tensión a valores menores para la alimentación de los sistemas de subtransmisión.

2.7.2 Subestaciones receptoras secundarias

Subestación alimentada por las redes de subtransmisión que suministran la energía eléctrica a las redes de distribución.

2.7.3 Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas

Se encuentran en las centrales eléctricas o plantas generadoras de electricidad para modificar los parámetros de la potencia suministrada por los generadores, permitiendo así la transmisión en alta tensión en las líneas de transmisión.

De acuerdo con el tipo de instalación se pueden clasificar como:

2.7.4 Subestaciones tipo intemperie

Se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requiere de un diseño de aparatos y máquinas capaces de soportar el funcionamiento bajo condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve, etc.); por lo general se utilizan en los sistemas de alta tensión.

2.7.5 Subestaciones tipo interior

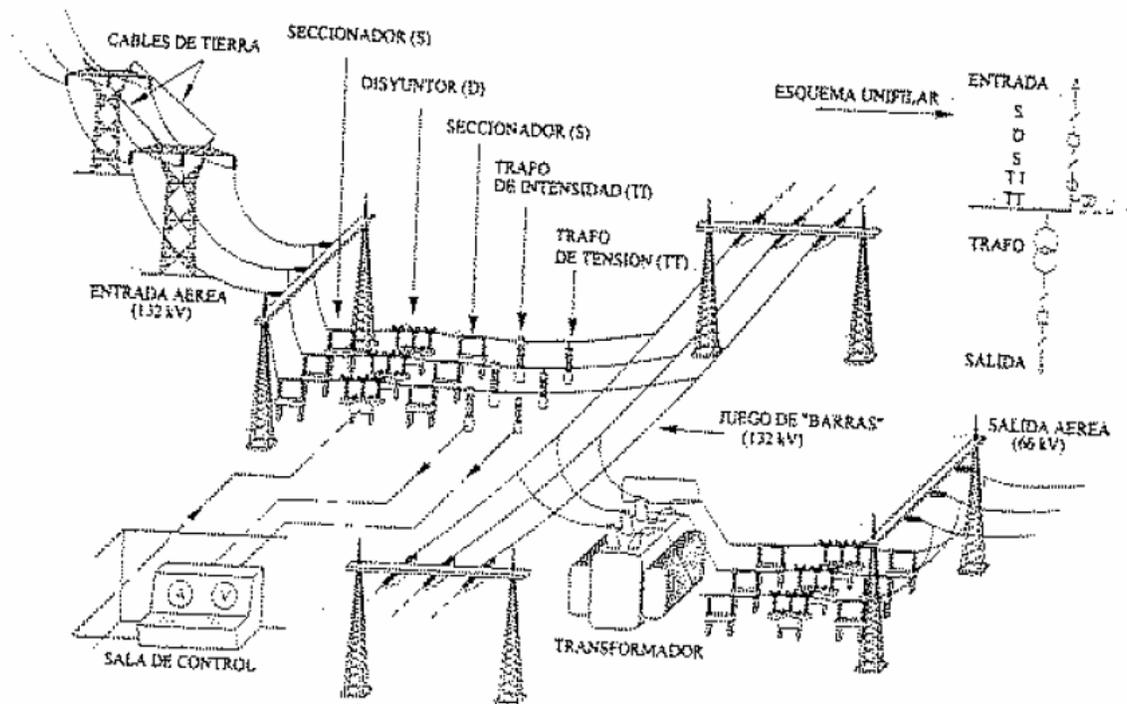
En este tipo de subestaciones los aparatos y máquinas están diseñados para operar en interiores. Son pocos los tipos de subestaciones tipo interior y generalmente son usados en las industrias.

2.7.6 Subestaciones tipo blindado

Subestación donde los componentes y las máquinas están bien protegidos y el espacio necesario es muy reducido. Generalmente se utilizan en fábricas, hospitales, auditorios, edificios y centros comerciales que requieran

poco espacio para su instalación, generalmente se utilizan en tensiones de distribución y utilización.

Figura 8. Elementos de una subestación



Fuente: <http://es./Archivo:Subestaci%C3%B3n electricidad.jpg>

2.8 Centros de transformación

Los centros de transformación están dotados de transformadores o autotransformadores alimentados por las líneas de distribución de alta Tensión (mayor a 1000 voltios) y la entrega se da a una baja tención para su utilización final, usualmente a 400 voltios en conexiones trifásicas y 230 voltios en

conexiones monofásicas. Los centros de transformación son los encargados de realizar la última transformación, efectuando el paso de las tensiones de distribución a la tensión de utilización a diferencia de una subestación, ya que ésta eleva o disminuye el voltaje para llegar al proceso de transformación para lo cual sea requerida.

2.8.1 Transformadores

Se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

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

Si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

La razón entre la fuerza electromotriz inductora (EP), aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida (ES), obtenida en el secundario, es directamente proporcional a la razón entre el número de espiras de los devanados primario (NP) y secundario (NS) .

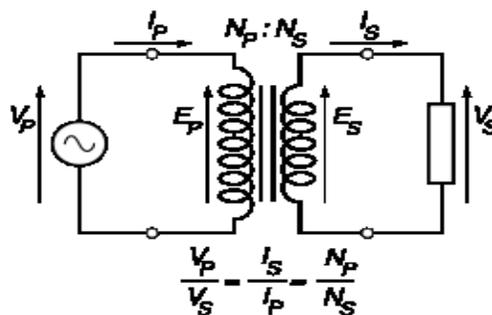
$$\frac{EP}{ES} = \frac{NP}{NS}$$

La razón de transformación (m) del voltaje entre el bobinado primario y el secundario depende de los números de vueltas que tenga cada uno. Por ejemplo: si el número de vueltas del secundario es el triple del primario, en el secundario habrá el triple de tensión

$$\frac{NP}{NS} = \frac{VP}{VS} = m$$

Esta particularidad se utiliza en la red de transporte de energía eléctrica; al poder efectuar el transporte a altas tensiones y pequeñas intensidades se disminuyen las pérdidas por el efecto Joule y se minimiza el costo de los conductores.

Figura 9. Diagrama eléctrico de un transformador



Fuente: Transformer_under_load.sg

Tipos de transformadores

- Transformador elevador/reductor de tensión
- Transformador de aislamiento
- Transformador de alimentación
- Transformador trifásico
- Transformador de pulsos
- Transformador de línea
- Transformador con diodo dividido
- Transformador de impedancia
- Estabilizador de tensión
- Transformador híbrido o bobina híbrida
- Balún
- Transformador electrónico
- Transformador de frecuencia variable
- Transformadores de medida

2.8.2 Autotransformador

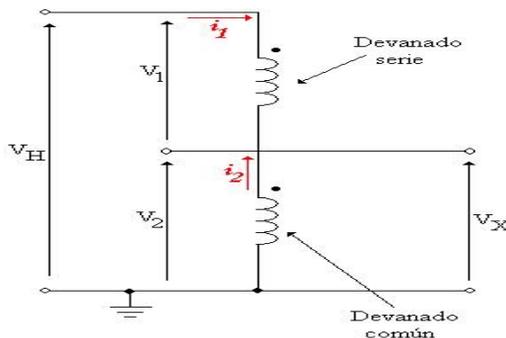
Un autotransformador es una máquina eléctrica de construcción y características similares a las de un transformador, pero que a diferencia de éste, sólo posee un único devanado alrededor del núcleo. En dicho devanado se deben tener al menos tres puntos de conexión eléctrica, llamados tomas. La fuente de tensión y la carga se conectan a dos de las tomas, mientras que la tercera toma (la del extremo del devanado) es una conexión común a ambos circuitos eléctricos (fuente y carga). Cada toma corresponde a un voltaje diferente de la fuente (o de la carga, dependiendo del caso).

En un autotransformador, el devanado común del devanado único actúa como parte tanto del devanado "primario" como del "secundario". La porción restante del devanado recibe el nombre de "devanado serie" y es la que proporciona la diferencia de voltaje entre ambos circuitos mediante la adición en serie con el voltaje del devanado común.

Los autotransformadores se utilizan a menudo en sistemas eléctricos de potencia, para interconectar circuitos que funcionan a voltajes diferentes, pero en una relación de vueltas cercana a 2:1. En la industria, se utilizan para conectar maquinaria fabricada para tensiones nominales diferentes a la de la fuente de alimentación (por ejemplo, motores de 480 V conectados a una alimentación de 600 V). Se utilizan también para conectar aparatos, electrodomésticos y cargas menores en cualquiera de las dos alimentaciones más comunes a nivel mundial (100-130 V a 200-250 V).

En sistemas de distribución rural, donde las distancias son largas, se pueden utilizar autotransformadores especiales con relación de vueltas alrededor de 1:1, aprovechando la multiplicidad de tomas para variar el voltaje de alimentación y así compensar las apreciables caídas de tensión en los extremos de la línea.

Figura 10. Esquema de conexión de un autotransformador



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Autotrafo02.JPG>

3 MEDICIÓN

3.1 Medición eléctrica

Es una técnica empleada para determinar el consumo de energía eléctrica en un circuito o servicio eléctrico. La medición eléctrica es una tarea del proceso de distribución eléctrica y permite calcular el costo de la energía consumida con fines domésticos y comerciales.

Los parámetros que se miden en una instalación eléctrica, medidos en kilovatios-hora, generalmente son los siguientes:

- Demanda máxima
- Demanda base
- Demanda intermedia
- Demanda pico
- Factor de potencia
- Ruido eléctrico o componentes armónicos a la red de la instalación o servicio medido.

La tecnología utilizada en el proceso de medición eléctrica permite determinar el costo de la energía que el usuario consume, de acuerdo a las políticas de precio de la empresa distribuidora de energía, considerando que la energía eléctrica tiene costos de producción diferentes dependiendo de la región, época del año, horario del consumo, hábitos y necesidades del usuario.

3.2 Clasificación de los instrumentos de medida

En el sentido más amplio, estos instrumentos pueden clasificarse en dos grupos:

- Instrumentos primarios o absolutos: denominados patrones primarios, dan el valor de la cantidad medida en función de las constantes del instrumento y de su indicación, no siendo necesaria la comparación o la calibración con otros instrumentos.
- Instrumentos secundarios: previamente a su utilización deben ser calibrados (proceso metrológico) donde se transfiere, en la escala del instrumento, una serie de valores con unidad e inexactitud determinadas, utilizando métodos y patrones adecuados.

Desde el punto de vista de utilización, en la rama de mediciones en ingeniería, se puede realizar una división general entre instrumentos de índice o analógico e instrumentos numéricos o digitales.

- Un instrumento analógico involucra un proceso con elementos analógicos, es decir que ante una señal de entrada cuya variación sea continua, proporciona una salida también continua, la cual puede tomar cualquiera de los valores entre los límites especificados.
- Un Instrumento digital procesa una señal de entrada, cuya variación sea continua y proporciona en la salida un número finito o discreto de valores.

Se puede realizar un separación más efectiva entre lo que se entiende por analógico y por digital, citando lo definido por las normas internacionales IEC 51/87-88 e IEC485/74 (Comité Electrotécnico Internacional, por sus siglas en inglés) que se refieren a los aparatos analógico y digitales respectivamente:

- Instrumento analógico es aquel en el cual la indicación se obtiene a partir de una posición de un índice, material o no, sobre una referencia adecuada.
- Instrumento digital es aquel en el cual la indicación aparece en forma numérica.

3.3 Medición con instrumentos electrónicos Analógicos

Ampliando la descripción del proceso de medida, en un instrumento de medición analógico es muy difícil manipular, comparar, calcular y recuperar información con exactitud cuando ésta no ha sido guardada, como por ejemplo: para medir la intensidad de una corriente eléctrica el operador observa la lectura del instrumento, el cual con la variación de la corriente convierte la deflexión del indicador en un valor numérico con la ayuda de la escala, esto permite al observador seguir en forma continua las variaciones del valor medurado.

Los instrumentos analógicos son diseñados con una parte fija y otra móvil que tiene un sólo grado de libertad. Por razones de orden práctico se adopta la rotación pura. El movimiento de traslación se reserva generalmente a los instrumentos absolutos.

3.3.1 Galvanómetro de D'Arsonval

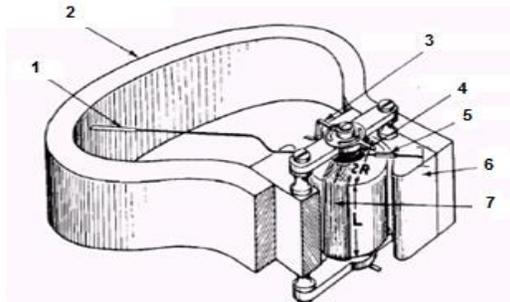
Un galvanómetro es un instrumento capaz de detectar la presencia de pequeñas corrientes en un circuito cerrado y puede ser adaptado, mediante su calibración, para medir su magnitud. Utiliza para su operación una bobina móvil e imán fijo y se conoce como mecanismo de D'Arsonval, en honor al científico que lo desarrolló. Éste consiste en una bobina normalmente rectangular por la cual circula la corriente que se quiere medir, esta bobina está suspendida dentro del campo magnético asociado a un imán permanente, según su eje vertical, de forma tal que el ángulo de giro de dicha bobina es proporcional a la corriente que la atraviesa.

La inmensa mayoría de los instrumentos indicadores de aguja empleados en instrumentos analógicos se basan en el principio de operación explicado, utilizándose una bobina suspendida dentro del campo asociado a un imán permanente. Los métodos de suspensión empleados varían, lo cual determina la sensibilidad del instrumento, así cuando la suspensión se logra mediante una cinta metálica tensa, puede obtenerse deflexión a plena escala con solo $2 \mu\text{A}$, pero el instrumento resulta extremadamente frágil, mientras que el sistema de "joyas y pivotes", semejante al empleado en relojería, permite obtener un instrumento más robusto pero menos sensible que el anterior, en los cuales típicamente se obtiene deflexión a plena escala, con $50 \mu\text{A}$.

En la figura 11 se muestra un imán permanente en forma de herradura con dos piezas polares, de hierro dulce, que forman los polos "norte" y "sur", en el centro de los cuales hay un cilindro, también de hierro dulce, alrededor del cual se dispone el cuadro metálico, muy liviano, que sostiene las vueltas de alambre de cobre, que constituyen la bobina; la bobina está sustentada por

medio de un sistema de joya y pivote, con fricción extremadamente reducida, por lo cual puede rotar con libertad.

Figura 11. Galvanómetro de D'Arsonval



1. Aguja, 2. Imán en forma De Herradura, 3. Control de Posición de cero,
4. Resorte de control, 4. Contrapeso, 5. Piezas polares, 6. Bobina

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/8244433/Galvanometro-d>

3.3.2 Multímetro

Un multímetro, a veces también denominado polímetro o tester, es un instrumento de medida que ofrece la posibilidad de medir distintos parámetros eléctricos y magnitudes en el mismo aparato. Las mediciones más comunes son las de voltímetro, amperímetro y óhmetro. Es utilizado frecuentemente por técnicos en toda el área de electrónica y electricidad.

3.3.3 Multímetro analógico

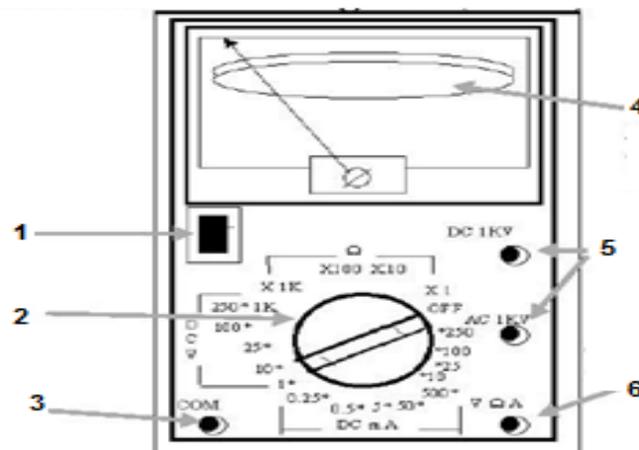
EL predecesor de los multímetro digitales, la diferencia entre éstos radica en el modo de presentar la información al usuario. En los multímetros analógicos, la

magnitud medida era presentada mediante un galvanómetro graduado y una aguja que sobre él se desplaza, hasta obtenerse así la lectura.

Los multímetros analógicos constan de varias escalas para su medición; como lo son:

- Voltios de corriente alterna
- Voltios de Corriente directa
- Amperios Corriente Alterna
- Amperios Corriente Directa
- Ohmios

Figura 12. Multímetro analógico



1. Calibración de aguja, 2. Llave selectora de función (A, V, Ω), 3. Conector Común "Negro", 4. Aguja y Escala, 5. Conectores Para alto Voltaje, 6. Conector Activo "Rojo"

Fuente: <http://craj.org/Multimetro.jpg>

- Voltímetro analógico: esencialmente están constituidos por un galvanómetro cuya escala ha sido graduada en voltios. Existen modelos para corriente continua y para corriente alterna.

Para efectuar la medida de la diferencia de potencial, el voltímetro ha de colocarse en paralelo sobre los puntos entre los que tratamos de efectuar la medida. Conduce a que el voltímetro debe poseer una resistencia interna lo más alta posible, a fin de que no produzca un consumo apreciable, lo que daría lugar a una medida errónea de la tensión. Para ello, en el caso de instrumentos basados en los efectos electromagnéticos de la corriente eléctrica, estarán dotados de bobinas de hilo muy fino y con muchas espiras, con lo que con poca intensidad de corriente a través del aparato se consigue el momento necesario para el desplazamiento de la aguja indicadora.

- Amperímetro analógico: un amperímetro es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico. Un microamperímetro está calibrado en millonésimas de amperio y un miliamperímetro en milésimas de amperio.

Si hablamos en términos básicos, el amperímetro es un simple galvanómetro con una resistencia en paralelo. Disponiendo de una gama de resistencias, podemos disponer de un amperímetro con varios rangos o intervalos de medición. Los amperímetros tienen una resistencia interna muy pequeña, por debajo de 1 ohmio, con la finalidad de que su presencia no disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito eléctrico.

- **Óhmetro Analógico:** un óhmetro se compone de una pequeña batería para aplicar un voltaje a la resistencia bajo medida, para luego, mediante un galvanómetro, medir la corriente que circula a través de la resistencia.

La escala del galvanómetro está calibrada directamente en ohmios, ya que en aplicación de la ley de Ohm, al ser el voltaje de la batería fija, la intensidad circulante a través del galvanómetro sólo va a depender del valor de la resistencia bajo medida, esto es, a menor resistencia mayor intensidad de corriente y viceversa.

3.4 Medición con instrumentos electrónicos digitales

El proceso de la medición con instrumentos electrónicos digitales o numéricos proporciona una información discreta expresada por un número de varias cifras. La escala clásica de indicación continua, es reemplazada por la escala numérica de indicación discreta, en la cual las cifras alineadas a leer indican directamente el valor numérico medido; la indicación numérica se despliega en una pantalla de cristal líquido ó LCD, a lo largo del tiempo con un ritmo predeterminado.

En general los instrumentos de medición digitales poseen características superiores con respecto a los instrumentos de medición analógicos; como por ejemplo:

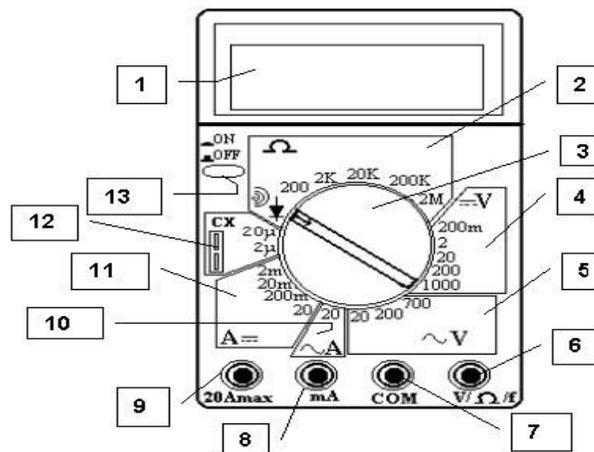
- la impedancia de entrada es relativamente muy elevada en los circuitos de medición de voltaje, relativamente superior a $2M\Omega$, esto hace que los instrumentos de medición digitales sean menos propensos al efecto de carga que puede influir en la medición.

- Su consumo de energía es mucho menor ya que la mayoría de instrumentos de medición digitales funcionan a base de baterías.
- Tienen una mayor exactitud
- Pueden incorporar la selección automática de escala, e indicación de polaridad, lo que garantiza al instrumento y mejora la fiabilidad de la medida.

3.4.1 Multímetro digital

Los multímetros digitales constan de las mismas escalas de medición que en los multímetros analógicos, con la diferencia que la magnitud de medida se presenta como un valor, un número, en un *display* como el de una simple calculadora o reloj, o sea, mediante la composición de números en decodificadores de siete segmentos por dígito desplegado o bien en una pantalla de cristal líquido, dependiendo el tamaño según sea el propósito del multímetro.

Figura 13. Multímetro digital



1. *Display* de cristal líquido, 2. Escala o rango para medir resistencia, 3. Llave selectora de medición, 4. Escala o rango para medir tensión en continua, 5. Escala o rango para medir tensión en alterna, 6. Borne de conexión para la punta roja, 7. Borne de conexión para la punta negra (Común), 8. Borne de conexión para la punta roja si se va a medir mA (miliamperios), 9. Borne de conexión para la punta roja cuando se elija el rango de 20 Amperios, 10. Escala o rango para medir corriente en alterna, 11. Escala o rango para medir corriente en continua, 12. Conexión para medir capacitores, 13. Botón de encendido y apagado

Fuente:

<http://www.rolcar.com.mx/Mecanica%20de%20los%20sabados/Multimetro/multimetro.jpg>

- Voltímetro digital: el voltímetro digital da una indicación numérica de la tensión, normalmente en una pantalla tipo LCD. Suelen tener prestaciones adicionales como memoria, detección de valor de pico, verdadero valor eficaz (RMS), autorango y otras funciones.

El sistema de medida emplea técnicas de conversión analógico-digital para obtener el valor numérico mostrado en una pantalla tipo LCD.

Por lo general, la escala de voltios de la medición de voltaje en voltaje A.C. están grabadas de color rojo, las demás escalas de voltios son de color negro. Algunos voltímetros tienen una escala que con las mismas separaciones, mide de 0 a 10, 0 a 100 y 0 a 1000 voltios, es decir, es la misma escala pero se usan sus múltiplos de 1, 10 o 100. Otros medidores van de 0 a 3, 0 a 30, 0 a 300 y algunos traen las 2 escalas. Algunos voltímetros tienen un contacto extra para insertar una de las puntas en una medida que puede ser de hasta 2500 voltios.

- Amperímetro digital: instrumento digital que está diseñado para medir y presentar en forma digital la corriente eléctrica de un equipo, el amperímetro digital puede ser utilizado no solo para corriente alterna sino también para corriente continua.

Para medición de corrientes alternas superiores a cinco amperios utilizan transformadores de corriente, los cuales se pueden conseguir en una amplia gama de relaciones de transformación.

La medición de corriente continua ha sido hecha tradicionalmente utilizando un *shunt*. El *shunt* es una resistencia de aleación bastante estable con respecto a las variaciones de temperatura. La corriente, al circular, produce una caída de tensión pequeña la cual se mide y se presenta como el valor de la corriente. Normalmente los *shunts* vienen calibrados para que al pasar la corriente nominal se tenga una caída de 60mV.

Además, el sistema de medida emplea técnicas de conversión analógico-digital para obtener el valor numérico mostrado en una pantalla tipo LCD.

Para efectuar la medida es necesario que la intensidad de la corriente circule por el amperímetro, por lo que éste debe colocarse en serie para que sea atravesado por dicha corriente.

- Óhmetro digital: el comportamiento del óhmetro digital básicamente es igual al del óhmetro analógico, a diferencia que el óhmetro digital es mucho más exacto en lo que respecta a su medida, esto se debe a que la batería ha sido sustituida por un circuito que genera una corriente de intensidad constante I , la cual se hace circular a través de la resistencia R que se desea medir. Luego mediante otro circuito se mide el voltaje V generado por la batería en los extremos de la resistencia que se desea medir. De acuerdo a la siguiente ecuación comprendida la ley de ohm, el valor de R esta dado por:

$$R = \frac{V}{I}$$

Luego, los datos obtenidos de esta relación dan una indicación numérica del valor encontrado, normalmente en una pantalla tipo LCD.

Para medidas de alta precisión se toman en cuenta varios inconvenientes como por ejemplo: la suma de la resistencia de los cables de medida y la de la resistencia, esto hace que no haya una lectura precisa de la resistencia a medir.

Para evitar este inconveniente, un óhmetro de precisión tiene cuatro terminales, denominados contactos Kelvin. Dos terminales llevan la corriente constante desde el medidor a la resistencia, mientras que los otros dos permiten la medida del voltaje directamente entre terminales de la misma, con lo que la caída de tensión en los conductores, que aplican

dicha corriente constante a la resistencia bajo prueba, no afecta a la exactitud de la medida.

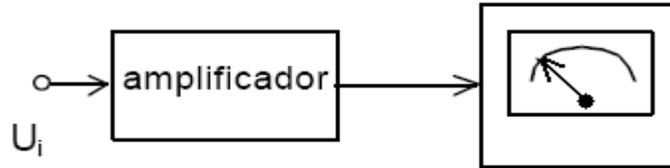
3.5 Comparación entre medición electrónica analógica y medición electrónica digital

Es conveniente también realizar ciertas observaciones. La instrumentación analógica (IA) posee dos características que limitan su aplicación frente a la instrumentación digital (ID):

- Por lo general tienen, un consumo propio significativo y/o una baja sensibilidad.
- Una mayor exactitud o mayor sensibilidad implica un instrumento más delicado, referido a instrumentos de medición electrónicos digitales de alta precisión, que por un mal uso del mismo puede llegar a dañar seriamente al equipo.

Los sistemas de medición electrónicos aplicados a medidas se orientaron, primordialmente, como primer punto a la utilización de amplificadores de instrumentación; se lograron así sistemas de medida con una alta impedancia de entrada, lo que de alguna forma eliminó el inconveniente de poder utilizar una menor impedancia propia del sistema. El conjunto logrado se denomina instrumento electrónico analógico.

Figura 14. Instrumento electrónico analógico

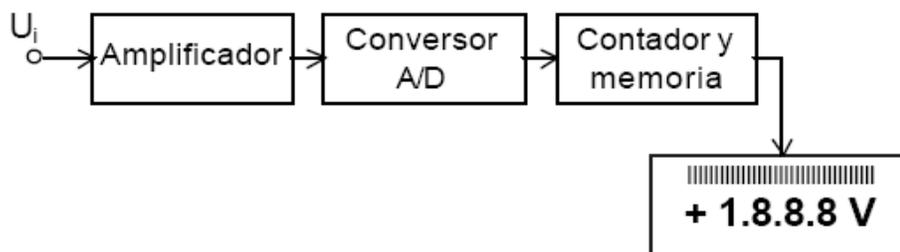


Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmei2773/docs/LME1-NC01-Instrumentos%20de%20Medida.PDF>

La aplicación de las técnicas digitales permitió eliminar en forma completa las partes electromecánicas sensibles al desgaste y vibraciones. En general, la instrumentación digital posee características de entrada superiores de corriente, impedancia de entrada muy elevada en los circuitos de voltaje, superior a $2M\Omega$, un consumo de energía mucho menor y una mayor exactitud; pueden incorporar selección automática de escala, e indicación de polaridad, lo cual protege el instrumento y mejora la fiabilidad de la medida.

Otra ventaja de la visualización digital es la reducción de los errores humanos asociados con la interpretación de la posición de la aguja en una escala analógica.

Figura 15. Instrumento electrónico digital



Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmei2773/docs/LME1-NC01-Instrumentos%20de%20Medida.PDF>

Sin embargo, la característica que define su principal ventaja con respecto al instrumento analógico, es la posibilidad de realizar mediciones coordinadas, controlando los instrumentos digitales desde una computadora; para tal fin los distintos fabricantes proveen el diagrama con las conexiones, protocolos y *software* necesarios.

Hay que resaltar el uso de instrumentos híbridos, los cuales, utilizando la técnica digital para el procesamiento de la medida, realizan una visualización analógica.

Debido á los avances vertiginosos en la microelectrónica, se lanzan continuamente al mercado instrumentos con mayores posibilidades y mejoras en las prestaciones, sin que esto acarree un aumento en el costo de los equipos; por el contrario equipos de generaciones posteriores y con características similares a los anteriores sufren una disminución en su precio.

3.6 Comunicaciones

3.6.1 Comunicación de datos

El objetivo principal de todo sistema de comunicaciones es intercambiar información entre dos entidades. La figura 16a muestra un modelo sencillo de sistema de comunicación. La figura 16b muestra un ejemplo particular de comunicación entre una estación de trabajo y un servidor, a través de una red telefónica pública. Los elementos clave en este modelo son los siguientes:

- La fuente: este dispositivo genera los datos a transmitir *ej.*, teléfonos, computadoras personales, etc.
- El transmisor: normalmente los datos generados por la fuente no se transmiten directamente tal como son generados. Al contrario, el transmisor transforma y codifica la información, generando señales electromagnéticas susceptibles de ser emitidas a través de algún sistema de transmisión. Por ejemplo, un módem convierte las cadenas de bits generadas por un computador personal y las transforma en señales analógicas que pueden ser transmitidas a través de la red telefónica.
- El sistema de transmisión: el sistema de transmisión puede ser, desde una sencilla línea de transmisión hasta una compleja red que conecte a la fuente con el destino.
- El receptor: el sistema de recepción acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la transforma de tal manera que pueda ser manejada por el dispositivo destino. Por ejemplo, un módem captará la señal analógica de la red o línea de transmisión y la convertirá en una cadena de bits.
- El destino: toma los datos del receptor y los utiliza a su conveniencia

Figura 16. Modelo simplificado para las comunicaciones

Figura 16a Diagrama general de bloques

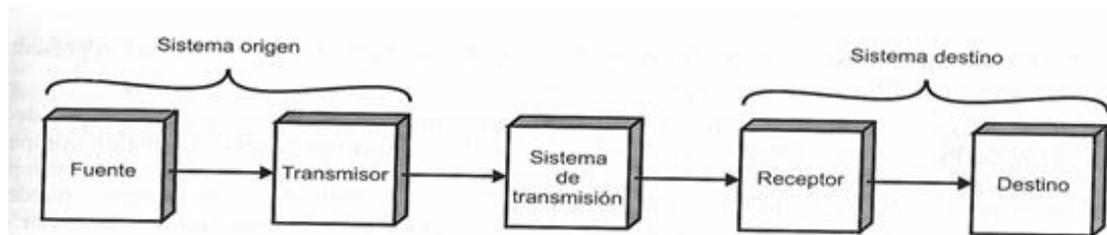


Figura 16b Ejemplo simplificado de comunicaciones



Fuente:

tlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/COMUNICACION%20DE%20DATOS/Unidad%20I/UNIDAD%20I-1.pdf

Aunque, el modelo presentado pueda parecer sencillo, en realidad implica una gran complejidad. Para hacerse una idea de la magnitud de ella, la tabla 1 lista algunas de las tareas claves que se deben realizar en un sistema de comunicaciones.

Tabla I. Tareas en los sistemas de comunicación

Utilización del sistema de transmisión	Direccionamiento
Implementación de la interfaz	Enrutamiento
Generación de la señal	Recuperación
Sincronización	Formato de mensajes
Gestión de intercambio	Seguridad
Detección y corrección de errores	Gestión de red
Control de flujo	

Fuente:

<http://www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/COMUNICACION%20DE%20DATOS/Unidad%20I/UNIDAD%20I-1.pdf>

La utilización del sistema de transmisión se refiere a la necesidad de hacer uso eficaz de los recursos disponibles en la transmisión, los cuales típicamente se suelen compartir entre una serie de dispositivos de comunicación. La capacidad total del medio de transmisión se reparte entre los distintos usuarios, haciendo uso de técnicas denominadas de multiplexación. Además puede que se necesiten técnicas de control de gestión para garantizar que el sistema no se sature por una demanda excesiva de servicios de transmisión.

Para que un dispositivo pueda transmitir información con el medio de transmisión tendrá que hacerlo a través de la interfaz. Las técnicas de transmisión dependen en última instancia de la utilización de señales electromagnéticas que se transmitirán a través del medio. De tal manera que, una vez que la interfaz está establecida, se necesitará la generación de la señal. La forma y la intensidad de las señales deben ser tales que les permitan:

- Ser propagadas a través del medio de transmisión.
- Ser interpretadas en el receptor como datos.

Las señales generadas deben cumplir los requisitos del sistema de transmisión y del receptor y además permitir alguna forma de sincronizar el receptor y el emisor. El receptor debe ser capaz de determinar cuándo comienza y cuándo acaba la señal recibida. Igualmente deberá conocer la duración de cada elemento de señal.

En todos los sistemas de comunicación es posible que aparezcan errores; es decir, la señal transmitida se distorsiona de alguna manera antes de alcanzar su destino. Por tanto, en circunstancias donde no se puedan tolerar errores, se necesitarán procedimientos para la detección y corrección de errores. Para evitar que la fuente no sature al destino transmitiendo datos más rápido de lo que el receptor pueda procesar y absorber, se necesitan una serie de procedimientos denominados como control de flujo.

3.6.2 Puntos de entrega y recepción

En la comunicación entre equipos, cuando el tamaño de la información emitida es mucho mayor que la velocidad de transmisión, se demandan mejores características para los medios de transmisión. Esto es particularmente cierto para las redes industriales de comunicación, en donde las condiciones distan mucho de ser ideales, debido a las posibles interferencias de máquinas eléctricas y otros. Por esta razón, el mejor medio de transmisión depende mucho de la aplicación. A continuación se menciona algunos de los más importantes medios físicos de transmisión:

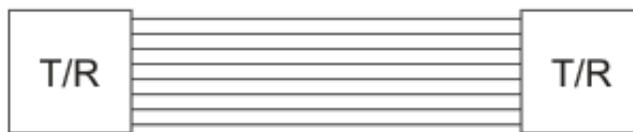
- Cables trenzados.
- Cables coaxiales.
- Cables de fibra óptica.

3.6.3 Modos de transmisión y recepción

- Transmisión paralela: todos los bits se transmiten simultáneamente, existiendo luego un tiempo antes de la transmisión del siguiente bloque.

Este tipo de transmisión tiene lugar en el interior de una maquina o entre maquinas cuando la distancia es muy corta. La principal ventaja de este modo de transmitir datos es la velocidad de transmisión y la mayor desventaja es el costo.

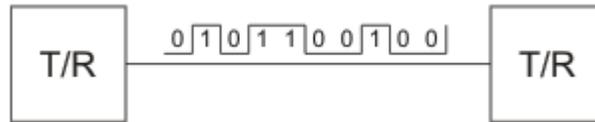
Figura 17. Transmisión paralela



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

- Transmisión en serie: en este caso, los n bits que componen un mensaje se transmiten uno detrás de otro por la misma línea.

Figura 18. Transmisión serial



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

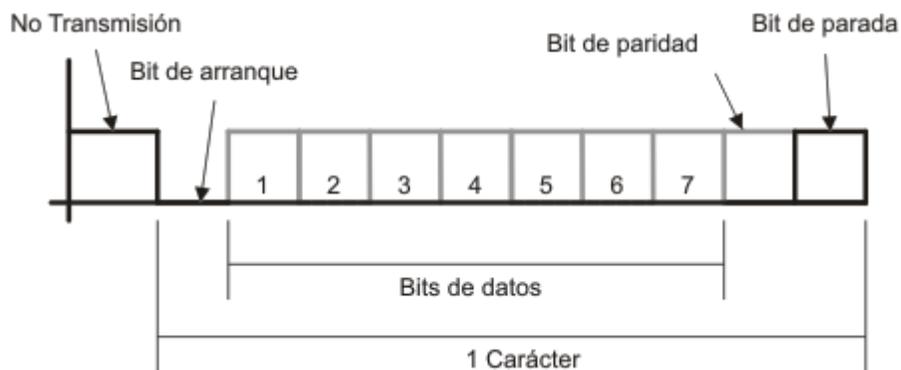
El concepto de comunicación serial es sencillo. El puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. Aun cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo, que permite la transmisión de un byte completo cada vez, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias. Por ejemplo, la especificación *IEEE 488* para la comunicación en paralelo determina que el largo del cable para el equipo no puede ser mayor a 20 metros, con no más de dos metros entre cualquiera de los dos dispositivos; por el otro lado, utilizando comunicación serial el largo del cable puede llegar a los 1200 metros.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: (1) Tierra, (2) Transmitir, (3) Recibir. Debido a que la transmisión es asincrónica, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra. Existen otras líneas disponibles como *handshaking* o el intercambio de pulsos de sincronización y se requiere solamente cuando la transmisión es síncrona.

- Transmisión asincrónica: es también conocida como *Start / Stop*. Requiere de una señal que identifique el inicio del carácter y a la misma se la denomina bit de arranque. También se requiere de otra señal

denominada señal de parada que indica la finalización del carácter o bloque.

Figura 19. Formato de un carácter



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

Generalmente, cuando no hay transmisión, una línea se encuentra en un nivel alto. Tanto el transmisor como el receptor, saben cuál es la cantidad de bits que componen el carácter como por ejemplo, en la figura 19, son siete bits.

Los bits de parada son una manera de fijar qué delimita la cantidad de bits del carácter y cuándo se transmite un conjunto de caracteres, luego de los bits de parada existe un bit de arranque entre los distintos caracteres.

- Transmisión sincrónica: en este tipo de transmisión es necesario que el transmisor y el receptor utilicen la misma frecuencia de reloj. En ese caso la transmisión se efectúa en bloques, debiéndose definir dos grupos de

bits denominados delimitadores, mediante los cuales se indica el inicio y el fin de cada bloque.

Este método es más efectivo porque el flujo de información ocurre en forma uniforme, con lo cual es posible lograr velocidades de transmisión más altas.

Para lograr el sincronismo, el transmisor envía una señal de inicio de transmisión mediante la cual se activa el reloj del receptor. A partir de dicho instante transmisor y receptor se encuentran sincronizados.

3.7 Estándares de transmisión y recepción de datos

Para elegir una interfaz física se toma en cuenta la confiabilidad de transmisión y los costos, por lo tanto, a pesar de las altas velocidades de transmisión que se pueden obtener con un interfaz paralela, es muy costosa para ser instalada. Por esta razón, la interfaz estándar para el campo industrial es serial. Los bajos costos de instalación, líneas más largas y transmisión más segura, compensan las menores velocidades de transmisión. A continuación describiremos algunos estándares para interfaces seriales encontradas en el campo industrial.

- RS232: estándar ANSI/EIA-232, es el conector serial que se encuentra en las PCs IBM y compatibles. Es utilizado para una gran variedad de propósitos, como conectar un ratón, impresora o modem, así como instrumentación industrial. Gracias a las mejoras que se han ido desarrollando en las líneas de transmisión y en los cables, existen aplicaciones en las que se aumenta el desempeño del estándar RS-232

en lo que respecta a la distancia y velocidad del estándar. Dicho estándar está limitado a comunicaciones de punto a punto entre los dispositivos y el puerto serial de la computadora.

- RS422: estándar EIA RS-422-A, es el conector serial utilizado en las computadoras Apple de Macintosh. Este estándar usa señales eléctricas diferenciales, en comparación con señales referenciadas a tierra como en el estándar RS-232. La transmisión diferencial, que utiliza dos líneas para transmitir y recibir, tiene la ventaja que es más inmune al ruido y puede lograr mayores distancias que en el estándar RS-232. La inmunidad al ruido y la distancia son dos puntos clave para ambientes y aplicaciones industriales.
- RS485: estándar EIA-485, es una mejora sobre el estándar RS-422 ya que incrementa el número de dispositivos que se pueden conectar aproximadamente de 10 a 32 equipos y define las características necesarias para asegurar los valores adecuados de voltaje cuando se tiene la carga máxima. Gracias a esta capacidad, es posible crear redes de dispositivos conectados a un solo puerto RS-485. Esta capacidad y la gran inmunidad al ruido, hacen que este tipo de transmisión serial sea la elección de muchas aplicaciones industriales que necesitan dispositivos distribuidos en red conectados a una PC u otro controlador para la colección de datos u otras operaciones.

3.8 Medidores por inducción

Básicamente toda medición por medio de la inducción, produce un cambio respecto a una variación del campo electromagnético; este fenómeno origina la producción de una fuerza electromotriz , f.e.m. o voltaje, en un medio

o cuerpo expuesto a un campo magnético variable o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida.

Para tener más clara la idea del funcionamiento de medidores por inducción, se describe el funcionamiento de una bobina de Rogowski, en la sección 6.1 el cual amplía el tema de tipos de medidores por inducción.

Una bobina de Rogowski es un transformador de corriente. Consiste básicamente en una bobina con núcleo de aire de forma toroidal a través de la cual se hace circular la corriente que se desea medir. Su principio de operación es muy sencillo: se basa, esencialmente, en que la corriente que se pretende medir crea un campo magnético alrededor del conductor por el que circula. Al situar la bobina rodeando este conductor, el campo magnético induce una diferencia de potencial entre los extremos de la bobina.

La bobina de Rogowski puede ser considerada como un ejemplo de las leyes de Ampere y de Faraday. La primera describe como es el campo magnético que se crea alrededor de un conductor por el cual circula una corriente. En concreto, dice que la circulación del campo magnético sobre un camino cerrado es igual a la corriente total que atraviesa cualquier superficie apoyada en la curva. Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$i = \oint H \cdot dl = \int_0^l H \cdot \cos\alpha \, dl$$

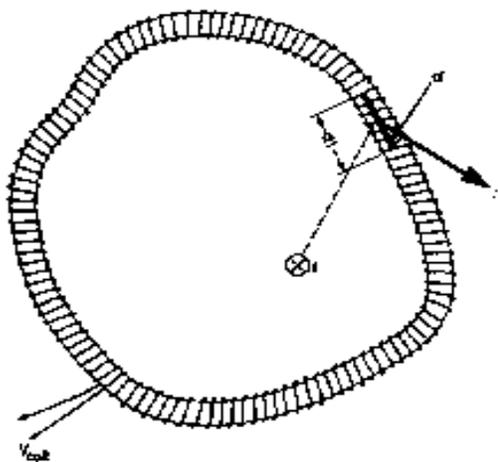
Donde:

- H = intensidad del campo magnético
- dl = es un elemento de longitud infinitesimal a lo largo del camino cerrado
- α = es el ángulo formado entre la dirección del campo magnético y la dirección de dl , como se ve en la figura 20

La ley de Faraday-Lenz explica como este campo magnético crea una diferencia de potencial entre los extremos de la bobina debido a la variación del flujo de campo magnético. En concreto, dice que la f.e.m. inducida en un circuito estacionario cerrado es igual y de signo contrario a la variación del flujo magnético que atraviesa el circuito respecto del tiempo.

En la figura 20 se muestra una bobina helicoidal, con n vueltas por metro y una sección transversal A , que rodea a un conductor por el que circula la corriente que se desea medir.

Figura 20. Elemento infinitesimal de longitud dl de la bobina



Fuente: <http://electronica.uc3m.es/groble/publicaciones/TID/tinvesrog.pdf>

El flujo magnético que atraviesa la sección en un elemento infinitesimal de longitud dl es $d\Phi$. Este se obtiene a partir de la integral de superficie de la inducción magnética B en la superficie de la sección del núcleo.

La tensión inducida en dl se obtiene, según la ley de Faraday-Lenz, como la derivada respecto del tiempo del flujo magnético.

$$V_{\text{espira}} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \left(\int_S B \, ds \right) = - \frac{d}{dt} \left(\int_S \mu_0 H \, ds \right) = - \mu_0 A \frac{dH}{dt} \cos\alpha$$

Integrando a lo largo de la longitud de toda la bobina se obtiene la expresión de la tensión inducida total.

$$\begin{aligned} V_{\text{inducida total}} &= \int_0^l V_{\text{espira}} N \, dl = \\ &= - \mu_0 AN \frac{d}{dt} \left(\int_0^l \frac{dH}{dt} \cos\alpha \, dl \right) \\ &= - \mu_0 AN \frac{d}{dt} \left(\int_0^l dH \cos\alpha \, dl \right) = - \mu_0 AN \end{aligned}$$

Así, queda establecida la relación entre la corriente que se pretende medir y la tensión inducida en la bobina. De forma general, se puede decir que el campo magnético producido por la variación de corriente que circula por el conductor, induce en la bobina una tensión proporcional al cambio de la corriente di/dt , siendo la constante de proporcionalidad la inductancia mutua de la bobina, M . El resultado queda expresado en la siguiente ecuación:

$$V_{\text{inducida total}} = - M \frac{di}{dt}$$

Siendo la inductancia mutua M igual a:

$$M = \mu_0 AN$$

La integral de línea de la ley de Ampere requiere una bobina con una sección transversal nula. En ese caso, la tensión proporcionada a la salida de la bobina de Rogowski sería independiente de la forma del camino cerrado y de la posición del conductor respecto de la bobina. Sin embargo, el devanado helicoidal de la bobina se realiza sobre un núcleo que tiene una sección transversal no nula, por lo que se crea un volumen que sólo se aproxima al requerimiento estricto de la ley de Ampere. Por tanto, la bobina tendrá un error de posición asociado. Este error se puede minimizar si todas las vueltas se realizan con la misma sección transversal y se distribuyen uniformemente alrededor de una trayectoria circular.

3.9 Medidores de potencia

3.9.1 Transformadores de potencial

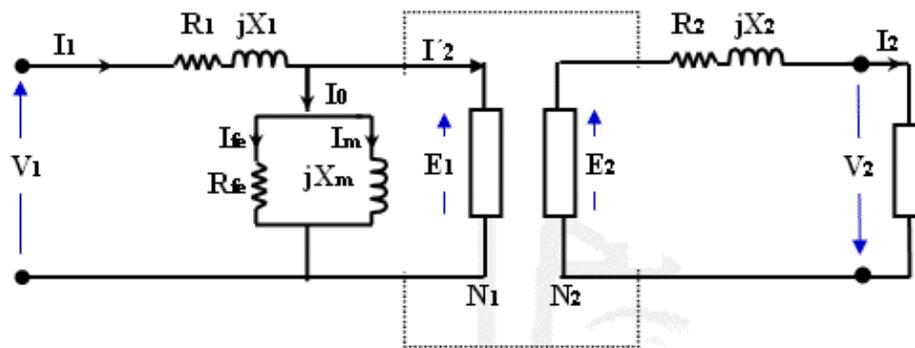
Los transformadores de potencial, T.P ó P.T. por sus siglas en inglés, son transformadores del tipo de voltaje constante, similares a los usados comercialmente en la distribución de energía eléctrica, diseñados especialmente para la relación de voltaje constante, teniendo en el secundario 100 ó 115 voltios, según norma alemana o americana respectivamente. Para la lectura de los instrumentos, el valor medido se multiplica por un factor constante en la escala.

En los transformadores de potencia adquiere importancia no solamente la exactitud en la relación de voltaje, sino también el desfase producido por la corriente de excitación, así como caídas de potencial en el secundario.

Para analizar el funcionamiento de los transformadores de potencia es conveniente elaborar un diagrama fasorial basado en un circuito equivalente completo, como se muestra en la figura 21.

Para facilitar la explicación se supone una relación de voltaje de 1:1; si esta relación fuese $n:1$, las escalas de voltaje e intensidad quedarían afectadas con el valor n y las de impedancia con n al cuadrado.

Figura 21. Circuito equivalente de un transformador ideal

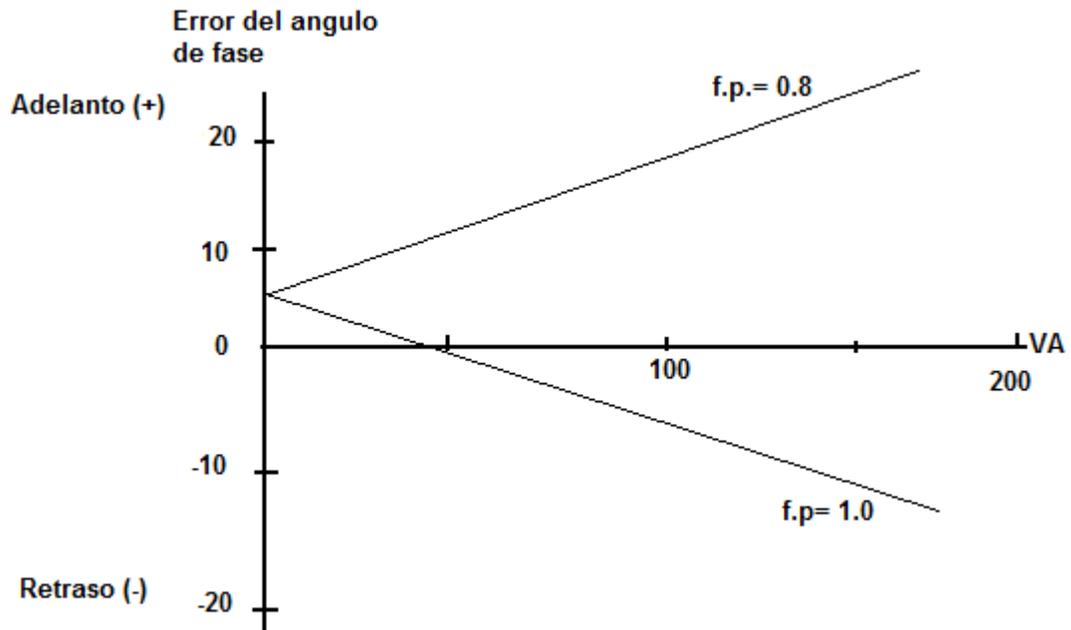


Donde:

V1=voltaje de entrada	V2=voltaje de salida
E1=Volt. Inducido en primario	E2= Volt. Inducido en secundario
I1=corriente primario	I2=corriente secundario
R1=resistencia primario	R2=resistencia secundario
X1=react. Dispersión Primario	X2=react. Dispersión secundaria
Im= corriente magnetiz	Ie= corriente de pérdidas

Fuente: <http://www.tuveras.com/transformador/realequivalente.gif>

Figura 23. Curvas típicas de error de ángulo de fase de un transformador de potencia



Fuente:

hilematics.es/elec/taulesconsulta/transformadors_intensitat/defzinicions/grafic7.jpg

Las curvas de factores de corrección y de ángulos, mostrados en la figura 23, se refieren a la carga y el factor de potencia impuestos por los instrumentos conectados al T.P. de acuerdo a la norma IEEE 57.13-1993. La norma establece que el volt-ampere (VA) es constante sin importar la corriente en el secundario del transformador. Las cargas normalizadas para los transformadores de potencia son:

Tabla II. Normas IEEE 57.13-1993 para transformadores de potencia

TIPO	VA	F.P
W	12.5	0.10
X	25	0.70
Y	75	0.85
Z	200	0.85
ZZ	400	0.85

Fuente: http://standards.ieee.org/reading/ieee/std_public/description/dtransformers/C57.13-1993_desc.html

3.10 Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente (T.C ó C.T., por sus siglas en inglés) se utilizan con el primario conectado en serie con el circuito y el secundario conectado a un amperímetro de 0 a 5 amperios, con una relación constante de intensidades.

En oposición a lo que ocurren en un T.P., el transformador de corriente tiene en su primario solo pocas vueltas y generalmente está constituido por una barra sólida que atraviesa el mismo.

El embobinado secundario contiene un gran número de vueltas, lo que da por resultado una impedancia muy alta. El principio de operación del T.C es el mismo que el de cualquier otro transformador, debido al flujo magnético variante producido por la corriente primaria se induce un voltaje en el secundario en relación al número de vueltas. Este voltaje, en circuito abierto, puede ser sumamente elevado. Sin embargo, al cerrar el circuito a través de uno o varios amperímetros, se establece una corriente que causa una caída de

potencial a través de la impedancia interna, de manera que el voltaje terminal es muy pequeño. Esto se debe a que la impedancia interna es mucho mayor que la resistencia de los instrumentos por lo tanto no afectara la intensidad resultante.

En el diagrama fasorial mostrado en la figura 22, se puede observar que idealmente las intensidades I_1 e I_2 deberían estar desfasadas exactamente en 180° , pero debido a las pérdidas resulta un desfase distinto y también una relación de intensidades variables. En forma similar a los T.P. se establecen entonces también curvas de corrección para el factor de relación y para el error del ángulo de fase en función de la carga.

Las normas IEEE 57.13-1993 para los transformadores de corriente son las siguientes:

Tabla III. Normas IEEE 57.13-1993 para transformadores de corriente

R(Ω)	L(mH)	Z(Ω)	VA	F.P.
0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
0.5	2.3	1.0	25	0.5
1.0	4.6	2.0	50	0.5
2.0	9.2	4.0	100	0.5
4.0	18.4	8.0	200	0.5

Fuente: http://standards.ieee.org/reading/ieee/std_public/description/dtransformers/C57.13-1993_desc.html

La norma IEEE 57.13-1993 establece también clases en el requerimiento de que el factor de corrección total debe estar dentro de ciertos límites para su aplicación, solamente con el propósito de tarificación.

Estas normas especifican el grado de exactitud, en porcentajes, para carga nominal y el 10% de la corriente de carga, entendiéndose que los límites de error pueden duplicarse con un 10% de corriente de carga.

Tabla IV. Factores de corrección para T.C

100% CORRIENTE		10% CORRIENTE	
MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
0.988	1.012	0.976	1.024
0.994	1.006	0.988	1.012
0.997	1.003	0.994	1.006

Fuente: http://standards.ieee.org/reading/ieee/std_public/description/dtransformers/C57.13-1993_desc.html

Tabla V. Factores de corrección para T.P.

MINIMO	MAXIMO
0.988	1.012
0.994	1.006
0.997	1.003

Fuente: http://standards.ieee.org/reading/ieee/std_public/description/dtransformers/C57.13-1993_desc.html

3.11 Amperímetros de inducción

Los amperímetros de inducción, conocidos comúnmente como de gancho, constituyen una aplicación muy común en los transformadores de medición. Tienen la ventaja de poder efectuar una medición de corriente sin tener que abrir el circuito donde se desea hacer la medición. Constan de un transformador cuyo núcleo se puede abrir, por medio de una pequeña palanca, para encerrar al conductor cuya intensidad se desea medir. Este núcleo lleva un embobinado secundario que transforma la intensidad de corriente que varía respecto al tiempo a un voltaje directamente proporcional a las variaciones de corriente que hay en el conductor.

Estos instrumentos no contienen un transformador de corriente y, por lo tanto, no son tan exactos. La precisión de los amperímetros de gancho es de aproximadamente $\pm 5\%$, dependiendo no solamente de factores de exactitud del propio instrumento, sino también de la falta de linealidad del núcleo magnético y de la posición del conductor dentro del gancho.

El voltaje inducido se aplica a una resistencia de carga y un instrumento de bobina móvil con un rectificador para que pase el voltaje a través de la misma. Para variar el rango se utiliza un interruptor que cambia la resistencia de carga, de manera que la corriente secundaria se incremente proporcionalmente, manteniendo constante el voltaje.

Algunos ganchos están conectados a multímetros, en cuyo caso los multímetros se conectan a un rango bajo de voltaje de corriente alterna.

3.12 Medidores de energía eléctrica

Los medidores de energía eléctrica, o contadores, utilizados para realizar el control del consumo, pueden clasificarse en tres grupos:

- Medidores electromecánicos: también conocidos como medidores de inducción, compuesto por un conversor electromecánico. Básicamente es un vatímetro con su sistema móvil de giro libre que actúa sobre un disco, cuya velocidad de giro es proporcional a la potencia demandada, provisto de un dispositivo integrador.
- Medidores electromecánicos con registrador electrónico: el disco giratorio del medidor de inducción se configura para generar un tren de pulsos, un valor determinado por cada rotación del disco cada cinco pulsos, mediante un captador óptico que censa marcas grabadas en su cara superior. Estos pulsos son procesados por un sistema digital el cual calcula y registra valores de energía y de demanda. El medidor y el registrador pueden estar alojados en la misma unidad o en módulos separados.
- Medidores totalmente electrónicos: la medición de energía y el registro se realizan por medio de un proceso analógico-digital utilizando un microprocesador y memorias. De acuerdo a las facilidades implementadas, estos medidores se clasifican como:
 - Medidores de demanda: miden y almacenan la energía total y una única demanda en las 24 horas. Esto quiere decir que en un solo período de tiempo de 24 horas realiza la medida y con una sola tarifa de demanda.

- Medidores multitarifa: miden y almacenan energía y demanda en diferentes periodos de tiempo de las 24 horas, a los que le corresponden diferentes tarifas llamadas cuadrantes múltiples. Pueden registrar también la energía reactiva, factor de potencia y parámetros especiales adicionales.

Para pequeños consumidores, industriales y domiciliarios se mantiene aún el uso de medidores de inducción de energía activa y reactiva, ya que para mediciones a pequeña escala se da una tarifa que comprende solo la energía medida en potencia activa, dada en kWh. Para los medianos y grandes consumidores se instalan generalmente medidores electrónicos digitales y estos comprenden tarifas en mediciones de energía activa en kWh, reactiva en kVARh y en caso para grandes consumidores también se mide la potencia aparente en kVAh. Para los grandes consumidores, a fin de facilitar la tarea de medición y control, el medidor permite además la supervisión a distancia vía módem, en muchas marcas incorporado al medidor.

4 ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIOAMBIENTE

La generación de energía eléctrica agrede continuamente al medioambiente, la atmósfera, la corteza terrestre, la biodiversidad de especies, vías fluviales de ríos etc.

Las causas principales de incidencia ambiental de este sector son:

- Ocupación de espacio para el establecimiento de instalaciones, tanto las productoras de electricidad como las extractivas de las materias primas
- Utilización y consumo de recursos renovables y no renovables.
- Generación de residuos materiales (gases, líquidos o sólidos) o energéticos (ruido, calor).
- Modificaciones físicas, socioeconómicas y culturales en las zonas de implantación o influencia.

Como resultado, puede producirse una serie de impactos potenciales sobre la atmósfera, las aguas o los suelos y, naturalmente, sobre los ecosistemas o las propiedades relacionados con dichos medios. La magnitud e importancia de los impactos concretos dependen fundamentalmente de:

- La fuente o recurso energético utilizado.
- El rendimiento de los sistemas de generación aplicados.
- La eficacia de los sistemas correctores de la contaminación.
- Las características y el valor del entorno natural afectado

Por ello es importante que, al analizar la problemática ambiental del sector energético se considere en primer lugar, los impactos de las actividades de minería del carbón y seguidamente los referidos a los sistemas de generación eléctrica.

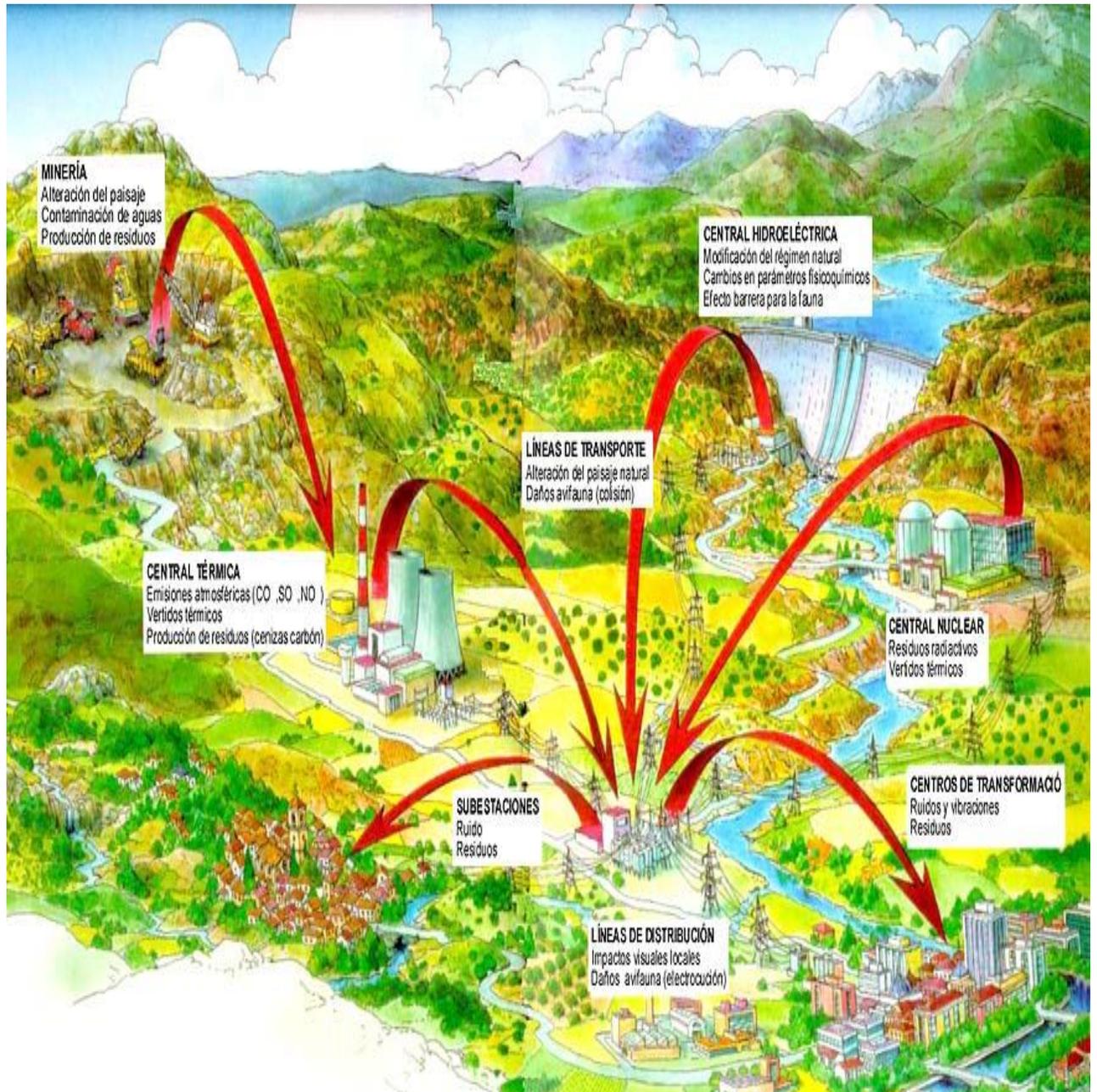
Sin embargo, a pesar del impacto ambiental que esta actividad humana produce en el medio, si la misma es controlada y llevada a valores razonables desde los puntos de vista técnico, ambiental y económico los daños causados al medio son aceptablemente bajos comparado con el beneficio que esta actividad otorga a la calidad de vida humana.

Todas las formas de generar energía eléctrica contaminan nuestro hábitat, tanto las renovables como las no renovables, siendo muy diversos los potenciales impactos causados al medio y dependen éstos del método de generación empleado.

La electricidad es una forma esencialmente limpia de energía, todos los sistemas generadores y las actividades extractivas de las materias primas utilizadas ejercen efectos significativos sobre el medioambiente.

En la siguiente imagen se muestra los principales impactos que pueden producirse en la obtención de los recursos energéticos, la producción de electricidad, su transporte y distribución; además, se explica cada uno de ellos en la tabla VI.

Figura 24. Principales impactos ambientales por el sector eléctrico



Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/2000/sesion/eema/graf1.htm>

Tabla VI. Principales impactos potenciales sobre el medioambiente en el sector

			AIRE	AGUAS	TERRENO	SERES VIVOS	OTROS
COMBUSTIBLES FÓSILES	EXTRACCIÓN TRATAMIENTO TRANSPORTE	CARBÓN	SO ₂ , NO _x , partículas, CO ₂ , polvo fugitivo	Vertidos ácidos, escorrentías, aguas residuales	Ocupación, subsidencia, escombreras	Perturbación hábitats naturales	Ruido, impacto visual
		PETRÓLEO	SH ₂ , NO _x , CO, CO ₂ , compuestos orgánicos, partículas	Consumo, vertidos contaminados	Ocupación	Perturbación hábitats, impacto de oleoductos sobre fauna	Olores, impacto visual, fugas de crudos
		GAS NATURAL	SH ₂ , CO ₂ , compuestos orgánicos, elementos traza	Residuos líquidos	Ocupación	Perturbación hábitats, impacto de gaseoductos sobre fauna	Fugas de gas, impacto visual, riesgos sobre la seguridad
	GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES		SO ₂ , NO _x , CO, CO ₂ , compuestos orgánicos, H ₂ O, partículas, elementos traza, transporte contaminantes secundarios, deposición húmeda y seca, efectos climáticos	Utilización y consumo, vertidos químicos y térmicos	Ocupación, contaminación	Efectos derivados de la operación	Ruido, impacto visual, generación de residuos sólidos
ENERGÍAS RENOVABLES	HIDRÁULICA			Ciclos hidrológicos, modificación de la calidad	Ocupación, riesgos de movimientos de tierras	Modificación de hábitats, cambio y emigración de especies, obstáculos en los cauces	Impacto visual, efecto sobre microclima, consecuencias socioeconómicas, riesgos de roturas de presas
	OTRAS: EÓLICA, SOLAR, BIOMASA, ETC.		Gases de combustión (biomasa), contaminación geotérmica	Utilización, contaminación	Ocupación	Modificación de hábitats, riesgo para la avifauna (eólica)	Ruidos, impacto visual
NUCLEAR	CICLO DEL COMBUSTIBLE DE URANIO Y GENERACIÓN NUCLEAR		Polvo, explotaciones mineras, emisiones radiactivas	Utilización y consumo, descargas térmicas y químicas, emisiones de radionúclidos, drenajes de la minería, contaminación subterránea	Ocupación, subsidencia y escombreras (minas), contaminación	Modificación de hábitats, impactos derivados de la operación	Residuos radioactivos, impacto visual, ruidos, riesgos ocupacionales

Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/2000/sesion/eema/sector.htm>

4.1 Minería energética y medioambiente

La minería se ha definido como la extracción de minerales de la corteza terrestre para su utilización por parte del hombre. Cualquier actividad minera da lugar a un cierto cambio en la naturaleza y, en consecuencia, ejerce un determinado impacto ambiental. Su magnitud, que puede variar de escasamente significativa a enormemente acusada y la naturaleza de los impactos dependen del tipo de mineral, la extensión del yacimiento, el método de explotación y las características del emplazamiento minero y de sus alrededores.

Actualmente, los carbones de muy distintas variedades son uno de los recursos mineros más explotados. Por ello, la preocupación ambiental relacionada con la minería ha surgido asociada directamente al carbón. La extracción de los carbones se puede realizar tanto en minería de interior como la subterránea. Particularmente, en la minería subterránea son más drásticas las modificaciones del suelo y del subsuelo, así como la incidencia sobre las aguas superficiales y subterráneas, apareciendo también efectos sobre la atmósfera y un mayor impacto paisajístico.

4.1.1 Principales impactos ambientales

- Impacto visual y ocupación de terrenos: excavaciones superficiales, escombros, instalaciones industriales como por ejemplo: maquinaria, lavaderos, plantas de trituración, maquinaria móvil, etc.
- Contaminación de aguas: modificación de ciclos hidrológicos naturales, aguas de bombeo de minas, escorrentías, aguas subterráneas, nivel freático.

- Variación de las características: acidez, presencia de sólidos en suspensión y metales pesados.
- Aguas de proceso: lavaderos, refrigeración, transporte hidráulico, control de polvo.
- Contaminación Atmosférica
- Emisiones de polvo fugitivo: contaminantes en focos de combustión espontánea, emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), fuentes móviles (cintas transportadoras, vehículos).
- Residuos
- Explotaciones mineras.
- Ruidos y vibraciones, maquinaria, tráfico.
- Estos impactos se producen en el territorio de forma muy localizada y afectan al entorno inmediato de las explotaciones mineras.

4.1.2 Corrección de impactos

El hecho de que los impactos ambientales de la actividad minera se limiten a las proximidades de las minas hace que puedan corregirse de forma muy eficaz, sobre todo si las medidas de control se abordan desde el inicio de la explotación y de forma coordinada con el desarrollo de la misma. Los métodos de corrección más comunes son:

- Restauración de terrenos
- Diseño y acondicionamiento de las nuevas superficies como escombros.
- Reposición de tierra vegetal, aporte de enmiendas y fertilización, ejecución de siembras y plantaciones, labores de mantenimiento, recolección de cosechas, creación de áreas de recreo y/o de protección ambiental.
- Tratamiento de aguas, segregación de aguas limpias, minimización y tratamiento físico-químico de aguas contaminadas, neutralización, decantación y evacuación de lodos.
- Asignación de usos en función de las características de la mina y de las condiciones ambientales de su entorno, creación de lagos, relleno con estériles de otras explotaciones, deposición de residuos, etc.

4.2 Centrales térmicas de combustibles fósiles

4.2.1 Funcionamiento

En una central térmica alimentada con combustibles fósiles, carbones, derivados líquidos del petróleo o gas natural, el proceso de combustión, como la reacción química de ciertos componentes con el oxígeno del aire, se realiza en la caldera, donde la energía interna de las materias primas se libera generando calor.

La mayor parte de las centrales eléctricas utiliza el calor para producir vapor de agua a alta temperatura y presión; éste hace girar una turbina de vapor que, a su vez, mueve el generador eléctrico (alternador).

En resumen, la energía interna de los combustibles se libera en forma de calor para producir un movimiento de turbinas que genera corriente eléctrica. Cuando son combustibles gaseosos y en algunos casos también con los líquidos, los gases de combustión accionan directamente las turbinas de gas.

La tendencia actual es la generación asociada de turbinas de gas y de vapor, producido a partir de los gases calientes de escape, con lo que se alcanzan rendimientos de producción eléctrica más elevados que con los ciclos convencionales. Un último sistema, aplicado en instalaciones de baja potencia, es el empleo de motores diesel para mover directamente el generador eléctrico.

4.2.2 Combustibles fósiles

De forma general, puede decirse que el poder calorífico de un combustible fósil está directamente asociado a sus contenidos de carbono e hidrógeno. Los restantes componentes del combustible, muy variables según la naturaleza de la materia prima, contribuyen a reducir esa potencia calorífica, a complicar el proceso de combustión y a generar una serie de subproductos cuya incidencia ambiental es frecuentemente negativa.

Los principales combustibles fósiles empleados en centrales termoeléctricas son:

- Gas natural: constituido en su mayor parte por metano (CH₄) y algunos otros hidrocarburos ligeros, es un combustible esencialmente limpio cuyo uso genera muy pocos productos residuales.
- Derivados líquidos del petróleo: son fundamentalmente el fuelóleo y el gasóleo, obtenidos en el proceso de refinado del crudo. Sus características responden a especificaciones adaptadas a los requerimientos de las centrales térmicas. Tienen, sin embargo, una composición y un contenido en azufre que dan lugar a residuos de carácter contaminante: óxidos de azufre y nitrógeno, etc.
- Carbones: sin duda son los combustibles fósiles más complejos. Se trata de rocas sedimentarias heterogéneas originadas a partir de restos vegetales muy diversos, sometidos a altas presiones, elevaciones de temperatura y movimientos de la corteza terrestre. Como resultado de este largo y complicado proceso, en los yacimientos de carbón se encuentran, junto con los productos procedentes de vegetales, restos minerales ajenos que contribuyen a aumentar la variedad y calidad de los carbones.

El proceso de combustión, reacción química de ciertos componentes con el oxígeno del aire, se realiza en la caldera, donde la energía interna de las materias primas se libera generando calor. La mayor parte de las centrales eléctricas utiliza el calor para producir vapor de agua a alta temperatura y presión, éste hace girar una turbina de vapor que, a su vez, mueve el generador eléctrico.

En resumen, la energía interna de los combustibles se libera en forma de calor para producir un movimiento de turbinas que genera corriente eléctrica.

Cuando son combustibles gaseosos, en algunos casos también con los líquidos, los gases de combustión accionan directamente las turbinas de gas.

4.3 Problemática medioambiental

4.3.1 Problemática medioambiental de la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas

Se transforma en energía eléctrica la energía potencial de una masa de agua mantenida a desnivel entre un embalse y la central eléctrica situada aguas abajo, en la cual hay una turbina acoplada a un alternador que convierte en energía eléctrica la energía mecánica del salto de agua. Las alteraciones fundamentales afectan al agua y al suelo, siendo muy escasa la incidencia sobre la atmósfera, naturalmente estas alteraciones dependen sobre todo del tamaño y localización del aprovechamiento hidráulico. El impacto ambiental en la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas se describe de la siguiente manera:

- Impacto sobre el medio físico: ocupación de terrenos, cambio de usos del suelo y pérdida de suelos fértiles, alteraciones de paisajes, incidencia sobre la suavización de temperaturas, modificación del nivel freático, etc.
- Impacto sobre el régimen fluvial: los efectos pueden ser diferentes, afectando tanto al régimen del cauce como la calidad del agua.
- Un primer efecto es la retención de la mayor parte de los sólidos transportados por la corriente, que, a largo plazo, puede dar lugar a una reducción de la capacidad útil del embalse. Además aparecen

fenómenos de salinización, eutrofización y estratificación. El aumento del contenido en sales del agua embalsada se debe a la inundación de las laderas. Este efecto puede ser causado en los primeros tiempos de realización y operación de la hidroeléctrica.

- También produce eutrofización, que consiste en un crecimiento anormal de plancton y algas, debido al aporte elevado de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno. Ello modifica el equilibrio de la flora y la fauna, provocando una disminución de los niveles de oxígeno, pérdida de transparencia, coloración, putrefacción de organismos, etc., que pueden llegar a dañar gravemente a la población del área. En el tramo de aguas bajo la presa, el régimen de sobre embalse del río no garantiza la conservación de la flora, la fauna y de las características paisajísticas de esa zona. Por ello, ha de respetarse en todo momento un caudal mínimo de mantenimiento, denominado a veces caudal ecológico.
- Impacto sobre el medio natural: la construcción de un embalse, aparte de una incidencia directa sobre la vegetación de la zona inundada, puede inducir a ciertas modificaciones en las especies ribereñas y un cambio en la disponibilidad del agua así como en el aspecto paisajístico.
- Impacto sobre la fauna terrestre y acuática: la destrucción de hábitat puede dar lugar a la migración de ciertas especies y a una dificultad en sus movimientos. Asimismo, la fauna acuática puede verse afectada, sobre todo en las especies de comportamiento migratorio, obligando a la adopción de un conjunto de medidas específicas. El mantenimiento del caudal ecológico mencionado constituye uno de los condicionantes a tomar en cuenta.

- Impacto sobre los asentamientos humanos y la socio economía: Pueden mencionarse la eventual inundación de áreas habitadas, zonas de cultivos, vías de comunicación, etc. Esto requiere la construcción de nuevas áreas para trasladar a la población afectada y vías de comunicación por parte de la empresa que realiza la hidroeléctrica, aunque la construcción de la hidroeléctrica incluye habitualmente compensaciones que aminoran estos efectos

Como resumen general, es de señalar que, aunque la implantación de los sistemas hidroeléctricos lleva asociado un conjunto importante de impactos negativos sobre el medioambiente, también da lugar a una serie de efectos beneficiosos que pueden finalmente suponer un balance positivo de esta actividad.

4.3.2 Problemática medioambiental de la generación de electricidad en centrales termoeléctricas

Todo proceso de combustión tiene efectos directamente relacionados con la contaminación atmosférica y, en particular el de los carbones, con la producción de residuos sólidos. La combustión ideal de un compuesto constituido sólo por carbono e hidrógeno, quemado con un adecuado exceso de aire y sin reacciones secundarias, únicamente produciría dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O), a los que se unirían el oxígeno sobrante y el nitrógeno procedentes del aire. La situación se complica al quemar carbones y otros combustibles fósiles, que originan nuevos productos normalmente indeseables. Desde el punto de vista ambiental, los productos genéricos pueden ser gaseosos, líquidos, sólidos, calor residual y otras formas de contaminación como, residuos industriales, ruidos.

Los contaminantes principales presentes en los gases de combustión son:

- Efluentes gaseosos:
 - Óxidos de azufre (SO_x): proceden del azufre contenido en los combustibles. El principal es el dióxido de azufre (SO₂).
 - Óxidos de Nitrógeno (NO_x): proceden del nitrógeno presente en el aire de combustión o en la propia composición del combustible.
- Otros productos: emitidos en bajas concentraciones pero que cada vez reciben más atención; por ejemplo los compuestos halogenados, hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles (COV), elementos químicos en muy pequeña concentración (trazas), etc.
- Efluentes líquidos: a diferencia de los otros tipos de contaminación, la que afecta a las aguas es similar en cualquier central térmica, dependiendo sólo de su potencia y de las características del cauce de agua de aportación. Una central necesita importantes cantidades de agua para su operación, como resultado se produce gran variedad de corrientes residuales, algunas de forma continua como agua de refrigeración, plantas de tratamiento, extracción de cenizas, efluentes de depuración de gases.

Existen, por su naturaleza, dos tipos de vertidos líquidos en una central:

- Vertidos térmicos: están asociados al agua de refrigeración y normalmente la única modificación que causan sobre el medio es un

aumento de temperatura, aunque en algún caso se trata de aguas que precisan tratamientos de poca importancia antes de ser vertidas.

- Vertidos químicos: son de variada composición, aunque insignificantes en cantidad comparados con el caudal de agua de refrigeración, este caso de vertidos precisan de tratamientos de una gran importancia antes de ser vertidas por el hecho que sirven como refrigerante químico.
 - Residuos sólidos: sólo son significativos en el caso de combustión de carbones. La formación de escorias de la caldera y de cenizas volantes emitidas depende de la calidad del carbón y del sistema de combustión.
 - Efluentes energéticos: el proceso de producción de energía eléctrica tiene, en general, un rendimiento reducido.

En sistemas de refrigeración abiertos el calor se descarga en forma de agua caliente, en tanto que cuando los circuitos son cerrados con torre de refrigeración de tipo "húmedo", se produce nubes de vapor de agua a alta temperatura.

4.4 Tecnologías correctoras de la incidencia ambiental

En el sector de la energía existen numerosas posibilidades para limitar las repercusiones ambientales de las plantas productoras y se han ido incrementando paulatinamente las políticas de ahorro energético, el uso de tecnologías más limpias y de mayor eficiencia, así como la implementación de medidas correctoras, traduciéndose todo ello en una menor emisión de contaminantes por unidad de energía consumida.

El desarrollo de tecnologías limpias para el uso de combustibles fósiles es un instrumento esencial. Las disponibles actualmente, como la combustión en el petróleo, las turbinas de gas o los últimos desarrollos en gasificación integrada del carbón, conducen a reducciones sustanciales de emisiones atmosféricas.

En resumen, actualmente se dispone de una gama de opciones tecnológicas para satisfacer la demanda de electricidad reduciendo la repercusión ambiental de la energía.

4.5 Situaciones ambientales de las instalaciones generadoras de energía eléctrica

4.5.1 Situaciones y problemática medioambiental en generación de energías renovables

La generación de energía eléctrica por medio de energías renovables son las que se producen aprovechando fenómenos naturales: sol, cauce natural del agua, viento, biomasa, olas, calor de la tierra, etc., de manera que pueden considerarse inagotables porque los procesos naturales son capaces de reequilibrar el tiempo en que se producen los recursos de consumo humano. La incidencia ambiental por medio de este tipo de generación se describe en la tabla VII para su mejor comprensión, la cual explica las ventajas y desventajas de la generación de energía eléctrica por medio de energías renovable.

Tabla VII. Ventajas y desventajas de energías renovables por incidencia ambiental

Energía renovable	Ventajas	Desventajas
Fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sin emisiones ✓ Energía renovable ✓ Costes variables bajos ✓ Tecnología con muchas posibilidades de desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Necesidad de almacenamiento en aplicaciones no conectadas a la red ✓ Costes fijos altos ✓ Ocupación de terreno
Solar térmica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Energía renovable ✓ Tecnología sencilla en aplicaciones de baja temperatura ✓ Tecnologías con posibilidades de desarrollo en media y alta temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Necesidad de acumulación ✓ Necesita ayudas de manufactura técnica
Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Posibilidad de nuevos cultivos ✓ Eliminación de residuos contaminantes ✓ Mejora empleo ✓ Energía renovable ✓ Balance de emisiones neutro 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Suministro complicado ✓ Rentabilidad de algunas aplicaciones ligada al precio de otros combustibles
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sin emisiones ✓ Energía renovable ✓ Costes variables bajos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efectos paisajísticos ✓ Rentabilidad ligada al potencial eólico ✓ Ocupación terreno ✓ Generación de ruidos
Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sin emisiones ✓ Energía renovable ✓ Sinérgica con otras actividades (recreativa, suministro de agua, regadío) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poca capacidad de desarrollo ✓ Sequías que impiden la correcta explotación ✓ Impacto fauna río ✓ Ocupación de terreno
Mini hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sin emisiones ✓ Energía renovable ✓ Ahorro importante en infraestructura ✓ Industria nacional 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poca potencia por aprovechamiento ✓ Vigilancia del entorno

Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/2000/sesion/eema/sector.htm>

5 TARIFAS ELÉCTRICAS

5.1 Tarifa eléctrica y facturación en Guatemala

En Guatemala, la red nacional de energía está constituida por equipos eléctricos, desde las plantas generadoras de electricidad hasta los transformadores y tendido eléctrico colocados en postes de electrificación que se visualizan en calles o avenidas de nuestro país. Dichos transformadores son del tipo banco trifásico con unidades monofásicas, siendo los que alimentan las casas del usuario final. Una red eléctrica puede entenderse como un circuito eléctrico serie paralelo más complejo con voltajes y corrientes, así como potencia, que fluyen desde las plantas de generación eléctrica hasta nuestras casas. Aunque no es objeto de estudio más profundo en esta investigación, la empresa comercialización de electricidad está en constante control de la red nacional y del flujo de potencia entre distintos puntos.

Se debe tener presente que los precios de generación entre las plantas puede variar, ya que el precio es diferente a distintas horas del día, se puede mencionar la hora pico que se encuentra en un horario diurno de 6:00 am a 6:00 pm, la hora de menor demanda, en horario nocturno de 7:00 pm a 5:00 am y por último la hora de punta, situada en horarios de mayor demanda y donde se generan grandes demandas de energía eléctrica en horarios específicos del día como por ejemplo: 6:00 am, 12:00 pm, 6:00 pm, por lo tanto hay que considerar que el precio por kWh de energía varía de una planta generadora a otra, esto en razón a la forma en que generan energía que pueden ser: plantas

hidráulicas que generan energía a precios más bajos que aquellas del tipo térmicas, plantas eólicas o alternativas como la solar.

5.2 Sistema nacional interconectado

Se entiende por Sistema Nacional Interconectado (SIN) como aquella red eléctrica por la cual se entrega la energía eléctrica al usuario final. Se debe tener presente que el SIN consta de generadores de energía, de líneas eléctricas de transmisión y distribución, subestaciones eléctricas, centros de transformación monofásicos y trifásicos y el usuario final.

La facturación por energía debe seguir un proceso y una forma de cobro en base a los precios establecidos entre las empresas de electricidad y la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y las autoridades del país regidas en base a los reglamentos de las anteriores entidades. El AMM es el encargado de regular, quien vende y a qué horas, la energía al usuario final. Los precios son sujeto de ajustes trimestrales según la variabilidad de la económica y los precios de los combustibles a nivel internacional.

Para el usuario final, hablar de consumo de reactiva no tiene sentido, no está tipificada dentro de la facturación eléctrica y más bien se puede decir que no se consume, se tiene factor de potencia unidad. Sin embargo, en la industria en general con mucha maquinaria con alto consumo de energía reactiva en sus procesos, deberán compensar este consumo con bancos de capacitores para reducir el consumo directamente de la red eléctrica de las empresas de electricidad y mejor aun si producen su propia energía reactiva.

Otra solución puede ser el cuidar el consumo, trabajando las horas estipuladas de trabajo o bien haciendo los procesos más eficientes para ahorrar

energía. Debemos tener presente que el ahorro de energía para el país es bueno. Nosotros apagamos una lámpara aquí y en un lugar lejano, otra persona del área rural podrá encender la propia.

5.3 Cálculos de facturación

La facturación de la energía se distribuye entre personas especializadas en 60 rutas de lectura, con medidores calibrados según la Ley General de Electricidad, su Reglamento y demás resoluciones emanadas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

La Resolución CNEE 20-2004 establece el Pliego Tarifario en base a: precios base, valores, fórmulas de ajuste periódico y tarifas para el sector regulado y que tiene una vigencia desde el 1 de enero del 2004.

5.3.1 Sector regulado y no regulado

Es oportuno diferenciar entre sector regulado y no regulado, el primero establece aquellas tarifas reguladas por la CNEE que abarca usuarios con consumo:

- Baja tensión y con potencia menor o igual a 11 kW. de consumo por día
- Usuarios en baja o media tensión, potencia entre 11 y 100 kW. de consumo por día.

La primera tarifa corresponde al usuario domiciliario en la tarifa social y otros con mayor consumo pero inferior al consumo del sector no regulado. El sector regulado goza de la tarifa social y actualmente con las disposiciones del

nuevo boletín de prensa CNEE 01-2010, los usuarios del servicio de Distribución Final de Energía Eléctrica de las Distribuidoras DEOCSA, DEORSA y EEGSA, que las tarifas para el trimestre comprendido entre los meses de febrero a abril 2010, serán las siguientes:

Tabla VIII. Tarifa social DEOCSA, DEORSA y EEGSA

Distribuidora	Nov. Año 2009 – Ene. Año 2010 Q/kwh	Feb. Año 2010-Abr. Año 2010 Q/kwh	% en relación al trimestre anterior	Monto a Pagar por usuarios 0-50 kWh al mes	Monto a Pagar por usuarios 51-100 kWh al mes	% de usuarios beneficiados
DEOCSA	1.4208	1.3780	-3.0%	0.50	0.75	98%
DEORSA	1.4799	1.4592	-1.4%	0.50	0.75	96%
EEGSA	1.3677	1.2961	-5.2%	0.50	0.75	89%

Fuente: <http://www.cnee.gob.gt>

- El sector no regulado abarca:
 - Tarifas establecidas por el distribuidor, por ejemplo, industrias pequeñas
 - Usuarios con potencia mayor a 100 kW, por ejemplo, industria mediana y grande.

Por su parte el sector no regulado no goza del beneficio social, cobrando el valor del kWh. Al precio establecido por el Pliego Tarifario que actualmente, según el nuevo boletín de prensa CNEE 01-2010, los precios para el sector no regulado son:

Tabla IX. Tarifa social DEOCSA, DEORSA y EEGSA

Distribuidora	Nov. Año 2009 – Ene. Año 2010 Q/kWh	Feb. Año 2010-Abr. Año 2010 Q/kWh	% en relación al trimestre anterior	% de usuarios beneficiados
DEOCSA	1.6469	1.8406	11.8%	2 %
DEORSA	1.6781	1.8392	9.6%	4 %
EEGSA	1.4637	1.7693	20.9%	11%

El día 15 de enero del 2010, la Empresa eléctrica de Guatemala en los documentos remitidos a CNEE reportó un cálculo de 1.78 para la tarifa no social, lo que equivale a un alza del 21.9%.

Fuente: <http://www.cnee.gob.gt>

5.4 Ajuste de la factura con el pliego tarifario

Adicionalmente al consumo de kWh. y al precio por kWh., se agregan tarifas del pliego tarifario como lo son:

- Generación y transporte
 - Valor Agregado de Distribución (VAD)
 - Ajustes de Precio Trimestral o Solidaridad

- Distribución
 - Cargo fijo por cliente
 - Cargo unitario por energía

- o Cargo unitario por Potencia contratada
- o Cargo unitario por Potencia máxima

Los cuales se pueden revisar al observar la factura eléctrica del hogar o empresa. Si está en el sector regulado o no regulado algunas de estas tarifas, o todas, van reflejadas en la factura del servicio de energía eléctrica. Por ejemplo, la figura 25 muestra una factura domiciliar en la cual se pueden observar algunas de la tarifas del pliego tarifario.

Figura 25. Factura de energía eléctrica domiciliar

Contador		Actual			
Correlativo		07/02/2008	1,266	0	0.0
Tipo de Servicio	Residencial	Anterior			
Tarifa	Tarifa Social	09/01/2008	1,164	0	
Tarifa Vigente	Febrero - Abril 2008				

Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR)
 Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)

Factor de potencia 0.0000
 Le hemos servido durante 29 días

Detalle de Cargos (Q.)			
	Precio	Consumos	Importe Q.
GENERACION Y TRANSPORTE (cobro por cuenta de terceros)			
Energía: Cargo por Generación y Transporte (Sin IVA)	0.9963 Q/kWh	100 kWh	99.63
Ajuste Temporal Extraordinario	-0.1970 Q/kWh	100 kWh	-19.70
Energía: Cargo por Generación y Transporte (Sin IVA)	1.1129 Q/kWh	2 kWh	2.23
Potencia Máxima: Cargos por Generación y Transporte (Sin IVA)	0.0000 Q/kW	0.0 kW	0.00
Total Cargo por Generación y Transporte Q. (Sin IVA)		102 kWh	82.16
Total Cargo por Generación y Transporte Q. (Con IVA)			92.02
DISTRIBUCION			
Cargo Fijo por Cliente (Sin IVA)	9.2024 Q/usuario-mes		9.20
Energía: Cargo por Distribución (Sin IVA)	0.2711 Q/kWh	100 kWh	27.11
Energía: Cargo por Distribución (Sin IVA)	0.3251 Q/kWh	2 kWh	0.65
Potencia Máxima: Cargos por Distribución (Sin IVA)	0.0000 Q/kW	0.0 kW	0.00
Potencia Contratada: Cargos por Distribución (Sin IVA)	0.0000 Q/kW	0.0 kW	0.00
Total Cargo por Distribución Q. (Sin IVA)		102 kWh	36.96
Total Cargo por Distribución Q. (Con IVA)			41.40
Penalización por Incumplimiento a NTSD (Con IVA)			0.00
Tasa Municipal (cobro por cuenta de terceros) (Sin IVA)	10.0%	Municipalidad Guatemala	11.91
TOTAL CARGOS DEL MES Q.			145.33
Saldo Anterior de 00 mes(es)			0.00
(+) Mora por saldo anterior (Con IVA)	1.01% Mensual		0.00
Total Saldo Anterior			0.00
TOTAL A PAGAR			145.33

Fuente: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_10_MEC02.pdf

De esta forma la facturación de la empresa de electricidad se realiza con base en:

- Tarifa Social: el pliego tarifario actual establece como tarifa social los rangos siguientes:
 - Consumo de energía bajo 1.035687 Q/kWh
 - Menos el ajuste de solidaridad INDE de 0.509075 Q/kWh que redondea a 0.526612 Q/kWh,

Como ejemplo: si se consume 94 kWh, está pagando Q. 97.35 al cual debe restar la tarifa de solidaridad que para los 94 kWh es de Q. 47.85. Esta diferencia nos da un total de Q. 49.50 por consumo real de energía, al cual se le agregan los otros cargos antes mencionados. Se agrega la potencia consumida igual o menor a 300 kWh/mes, no importando el número de días de consumo: 10 Kw/h diarios, para más de 30 días de consumo, que suman 300 kWh/mes.

- La Escalas de aplicación:
 - 0 a 50 kWh
 - 51 a 100 kWh
 - 101 a 300 kWh

Y para el sector no regulado se cobra la tarifa plena

- Calculo de facturación: la cuota de facturación es igual a la sumatoria de cargos, estableciéndose como:

$$CB + CE + PM + PC$$

Donde:

- CB = Cargo Base
- CE = Cuota por energía
- PM = Cuota por Potencia Máxima del mes
- PC = Cuota por Potencia Contratada

Además:

- Tasa Municipal que depende de la Municipalidad que presta el servicio
- Impuesto al Valor Agregado IVA 12%
- Penalizaciones incumplimiento NTSD
- Bajo Factor de Potencia, en caso de Industria no aplica a Domiciliar
- Exceso de Demanda Contratada, solo para industria y algunos casos Domiciliar
- Mora (1.1% mensual)

Como se observa en la figura 25, se aprecian todos estos cobros sobre la factura. Prácticamente se paga por todo, desde el mantenimiento de la red hasta las pérdidas de energía que se dan en la transmisión. Claramente se ve que el sistema de cobro suele ser complejo y algunas veces difícil de comprender, pero basta con darle un vistazo al recibo de energía que recibe en su casa para darse cuenta de cada dato de cobro.

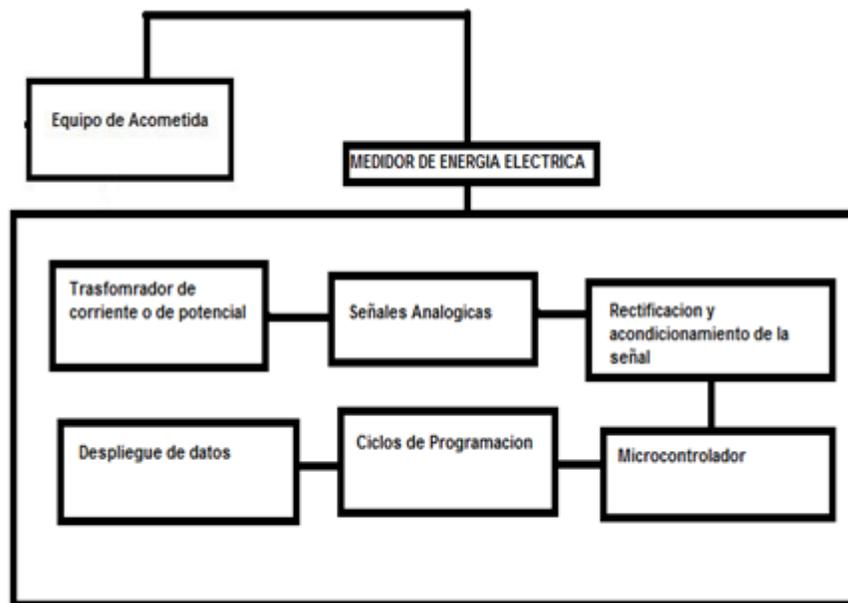
6 EL MEDIDOR MONOFÁSICO ELECTRÓNICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO MEDIO PARA CONTROLAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La medición de la energía eléctrica consumida es de suma importancia e interés por parte de los consumidores y de las empresas comercializadores de energía eléctrica, siendo el vatímetro el instrumento empleado para dicha medición, en particular el de tipo electromecánico, que es un medidor de consumo de energía eléctrica que utiliza embobinados de corriente y de voltaje para crear corrientes parasitas en un disco que, bajo la influencia de campos magnéticos, produce un giro que mueve las agujas de la carátula. El vatímetro electromecánico es el dispositivo de consumo de energía eléctrica más utilizado a nivel residencial, el cual puede ser del tipo monofásico o polifásico de acuerdo a la carga instalada; a nivel industrial se utilizan medidores de estado sólido o electrónicos digitales, los cuales proporcionan una medición más precisa.

Es importante mencionar que debido a la forma de procesamiento de la información en los diseños electrónicos digitales, se pueden incluir características adicionales a los vatímetros como lo es el despliegue de datos en una pantalla *LCD*, esto hace que visualmente sea más clara y concisa la lectura de datos, además, el procesamiento de datos hace que la medida de potencia sea más precisa y exacta en un tiempo determinado, lo que los hace más versátiles.

Así, el presente capítulo muestra las ventajas del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica como medio para controlar el consumo de energía eléctrica. A continuación se describen cada una de las secciones mostradas en la figura 26, que se desarrollaron para el diseño del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica.

Figura 26. Diagrama de bloques del medidor monofásico de energía eléctrica



Fuente: Propia

6.1 Transformador sensor de corriente toroidal

6.1.1 Pinza anemométrica de núcleo de hierro

La pinza amperométrica de núcleo de hierro es esencialmente un solenoide toroidal que rodea un conductor por el que circula la corriente que se

pretende medir. La bobina esta acoplada magnéticamente al conductor y, por ello, se induce una tensión proporcional al cambio en el tiempo de la corriente medida. La implementación de una bobina se puede hacer de diversas formas.

El conductor se arrolla sobre un núcleo ferro magnético. El material construido del núcleo posee una excelente permeabilidad magnética (2000 a 60000 μ h) lo que le confiere una sensibilidad excepcional (entre 1mV/A y 100mV/A) presentando una muy buena relación señal ruido, aún midiendo bajos niveles de corriente.

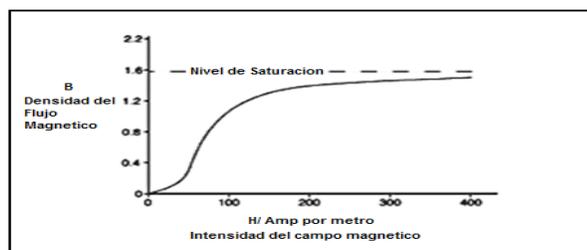
La permeabilidad está dada por la fórmula:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

- En donde B es la densidad de flujo magnético y H es la intensidad de campo magnético.

La curva típica de permeabilidad magnética del hierro se observa en el siguiente gráfico:

Figura 27. Permeabilidad magnética del hierro



Fuente: <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/inotab0509.html>

La tensión entregada por el transductor será proporcional a la variación del flujo magnético en su núcleo y por tanto será proporcional al campo magnético y al área del núcleo, según la relación:

$$E = - \frac{d\phi}{dt}$$

- Donde ϕ es el flujo magnético y esta dado por:

$$\phi = \mu \times H \times A$$

- En donde A es el área del núcleo.

Para el diseño de pinzas amperométricas concebidas para la medición de grandes corrientes deberá tenerse en cuenta que la sección del núcleo sea adecuada para evitar la saturación del mismo. De aquí se deriva la necesidad de un aumento en el volumen del núcleo para mantener la relación B/H en la zona lineal.

La curva típica del hierro es una limitación importante para la construcción de pinzas de alto rango dinámico. Actualmente, el tratamiento digital de la señal mejora este déficit, logrando alcanzar rangos de hasta 1000:1

6.1.2 Incidencia del entrehierro

Desafortunadamente el excepcional beneficio de la permeabilidad magnética del hierro, para la concepción de un transductor de corriente con alta relación de transferencia en igual proporción, se transforma en una desventaja cuando el cierre del circuito magnético es imperfecto. La imperfección en el

cierre tiene que ver con cuestiones constructivas, de mantenimiento y operativas. La suciedad, el óxido o el natural desajuste mecánico de los cierres provocado por el uso conllevan a la aparición de entrehierros, que aunque imperceptibles para el operador, desmejoran la exactitud del sistema.

El flujo magnético dentro del núcleo es directamente dependiente de la reluctancia del núcleo:

$$\Phi = \frac{fmm}{R}$$

- En donde fmm es la fuerza magneto motriz y R es la reluctancia del circuito magnético y está dada por:

$$R = \frac{l}{\mu \times A}$$

- En donde l es la longitud del circuito magnético.

En un circuito magnético con entrehierro, esta reluctancia estará dada por la combinación de la reluctancia del circuito de hierro sumada a la reluctancia del entrehierro, según:

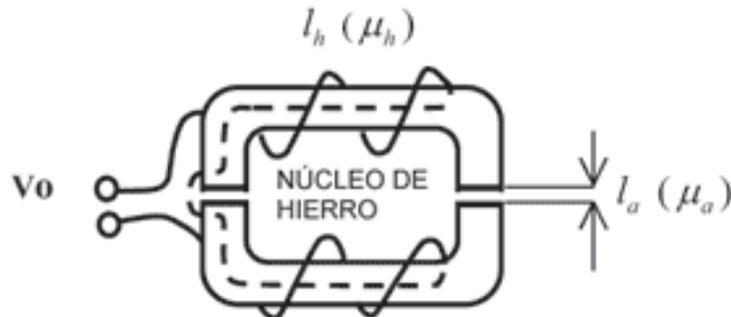
$$R_{tot} = R_h + R_a$$

Que es equivalente a:

$$R_{tot} = \frac{l_h}{\mu_h + A} + \frac{l_a}{\mu_a + A}$$

El segundo término de la fórmula anterior tiene importante influencia en el resultado final de la reluctancia y su aumento es altamente sensible a la presencia de imperfecciones en el cierre.

Figura 28. Esquema de una pinza amperométrica de núcleo de hierro



Fuente: <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/inotab0509.html>

Ensayos de laboratorio demuestran que la exactitud y la incertidumbre bajo las condiciones de medición en terreno con pinzas de hierro desmejoran en un orden de magnitud a causa del cierre imperfecto.

En la tabla X se observa el error relativo porcentual medio para diferentes condiciones de entrehierro, medidos en una pinza de hierro estándar:

Tabla X. Error relativo porcentual medio para diferentes condiciones de entrehierro

Entre hierro provocado (mm)	Er %
0	1.35
0.04	6.10
0.08	12.9

Fuente: <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/inotab0509.html>

6.1.3 Sensibilidad posicional

Excepto en pinzas de pequeño diámetro o dimensión de ventana, siempre hay una incidencia en la exactitud por la posición relativa del conductor dentro de la misma. El desajuste del entrehierro también afectará significativamente la sensibilidad posicional, obligando a procurar el alineamiento adecuado de los transductores al instalarlos en el circuito de medida, lo cual no siempre es factible en el terreno.

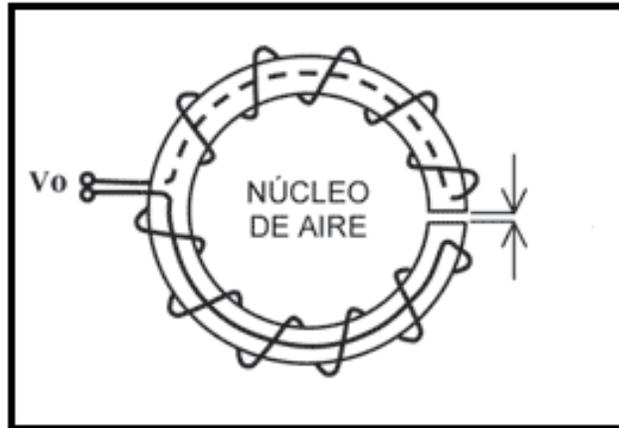
6.2 Transductor de núcleo de aire o bobina de Rogowski

Una bobina de Rogowski es un transformador de corriente. Consiste básicamente en una bobina con núcleo de aire de forma toroidal a través de la cual se hace circular la corriente que se desea medir.

La implementación de una bobina se puede hacer de diversas formas: el conductor se arrolla sobre un núcleo no ferro magnético. Este núcleo puede ser simplemente un toroide rígido o también puede ser flexible y no cerrado, de modo que pueda ser abierto para colocarse alrededor del conductor en el que se va a medir la corriente.

El diseño más simple de una bobina de Rogowski consiste en un devanado de una sola capa, como el que se muestra en la Figura 29.

Figura 29. Esquema de un transductor de núcleo de aire o bobina de Rogowski



Fuente: <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/inotab0509.html>

El avance a lo largo del toroide del devanado helicoidal sumado a lo largo de toda la circunferencia crea una vuelta perpendicular al eje del toroide. En caso de que exista algún flujo magnético paralelo a la bobina, este inducirá una tensión que se sumará a la inducida por el flujo creado por la corriente que se pretende medir. Para compensar este efecto indeseado, el devanado de la bobina se hace con una vuelta de retorno por el eje central de las espiras y en dirección opuesta al avance del devanado helicoidal.

Como está conectado eléctricamente en serie con la salida de la bobina, si existen flujos paralelos al eje de la bobina se induce una tensión igual y opuesta en polaridad a la inducida por el avance del devanado helicoidal, de modo que se compensa.

Las ventajas de una bobina de Rogowski para la medida de pulsos de corriente, respecto a los transformadores de corriente, son:

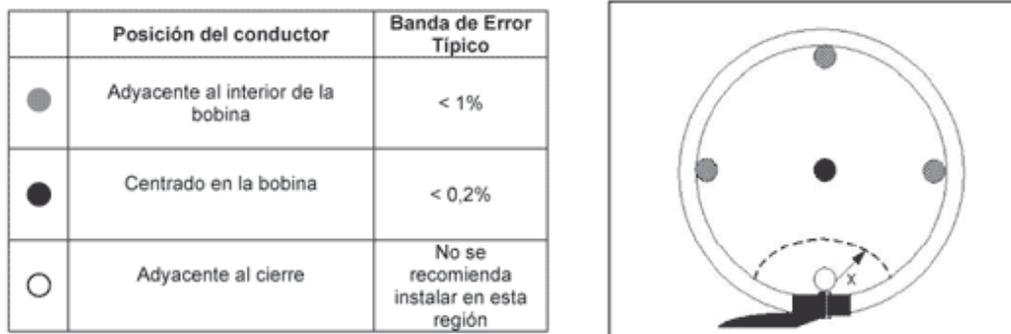
- Linealidad: la medida es lineal debido a que el núcleo es de un material no ferro magnético y, por tanto, no existe saturación del núcleo por lo cual puede medir grandes corrientes sin preocupación por deformación o rotura. Tampoco requiere de circuitos o algoritmos de compensación digital de su salida.
- Aislamiento galvánico: por tanto, el circuito de medida está aislado del circuito de potencia. Esto constituye una gran ventaja cuando se quieren medir grandes intensidades.
- Facilidad de uso: ya que no requieren un montaje especial.
- Su uso como medidor de corrientes variables en el tiempo fue planteado por Rogowski y Steinhaus en 1912. Su principio de operación es muy sencillo: se basa, esencialmente, en que la corriente que se pretende medir crea un campo magnético alrededor del conductor por el que circula.
- Al situar la bobina rodeando este conductor, el campo magnético induce una diferencia de potencial entre los extremos de la bobina.

6.3 Transductor de mínima incertidumbre o TI-Q

El TI-Q desarrollado consiste en un arreglo tecnológico que combina algunas de las características más sobresalientes de las dos alternativas anteriores hasta ahora presentadas.

Se trata de una sucesión de arrollamientos de núcleo de aire dispuestos sobre una circunferencia que permite un significativo incremento de la sensibilidad. De esta forma, se mejora la relación señal / ruido poniendo a este transductor en igual plano que los de núcleo de hierro respecto del ruido eléctrico en la medición de muy bajas corrientes. Simultáneamente se logra bajar el aporte de ruido proveniente de corrientes externas al sensor.

Figura 30. Esquema de un transductor de mínima incertidumbre o TI-Q



Fuente: <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/inotab0509.html>

La reducción del aporte de las diferentes fuentes de incertidumbre en el nuevo transductor desarrollado lo coloca en ventaja frente a las otras tecnologías de uso en terreno y posibilita utilizar toda la potencialidad de los circuitos electrónicos de medición de parámetros eléctricos. Se presenta a modo de resumen una tabla comparativa de los diferentes aspectos evaluados para cada una de las tecnologías.

Tabla XI. Diferentes aspectos evaluados para cada tipo de transformador sensor de corriente toroidal

Tecnología del Sensor \ Aspecto Evaluado	Pinza amperométrica de núcleo Ferroso	Bobina de Rogowski	TI-Q
Incertidumbre	Alta	Media	Muy baja
Costo	Medio	Bajo	Bajo
Peso	Alto	Bajo	Bajo
Volumen	Alto	Bajo	Medio
Linealidad	Buena	Excelente	Excelente
Capacidad de medición de alta corriente	Baja	Alta	Media
Problema de saturación	Si	No	No
Respuesta en frecuencia	Buena	Excelente	Buena
Influencia frente a campos externos	Regular	Buena	Excelente

Fuente: <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/inotab0509.html>

6.4 Microcontrolador

Se denomina microcontrolador al dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos.

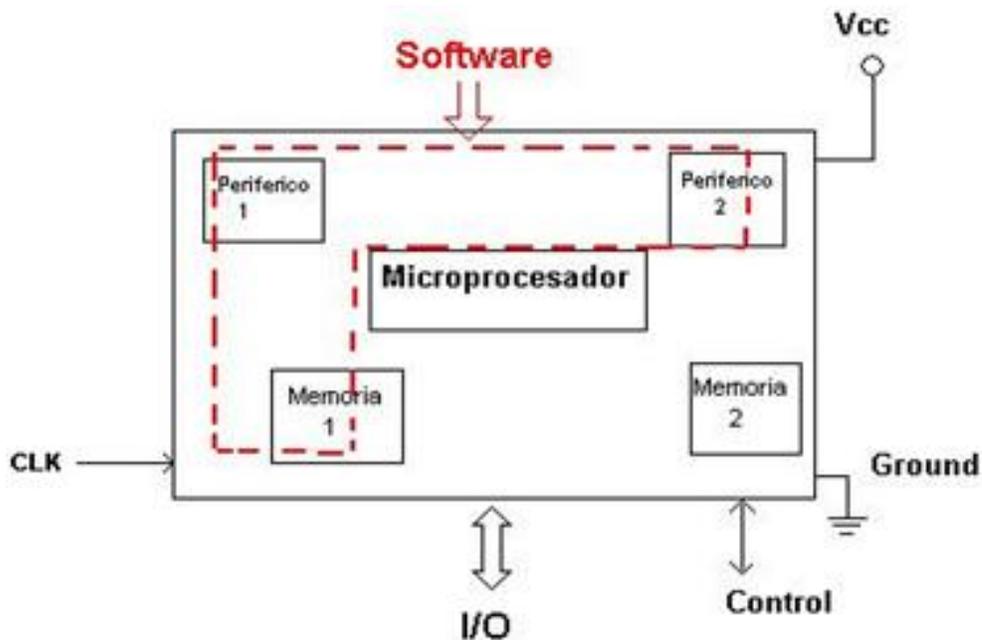
Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos: las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del micro controlador.

Los microcontroladores tienen una amplia gama de lenguajes de programación los cuales se describen más adelante. Cada microcontrolador varía su conjunto de instrucciones de acuerdo a su fabricante y modelo. De acuerdo al número de instrucciones que el microcontrolador maneja se le denomina como arquitectura "RISC" (Computadoras con un conjunto de

instrucciones reducido) o “CISC” (Computadoras con un conjunto de instrucciones complejo).

Los microcontroladores poseen principalmente una Unidad Lógica Aritmética “ALU”, memoria del programa, memoria de registros y pines de entrada o salida “I/O”. La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten, como por ejemplo, sumas, restas y multiplicaciones (ADD, OR, AND), mientras que los demás pines son los que se encargan de comunicar al micro controlador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico.

Figura 31. Esquema de un microcontrolador

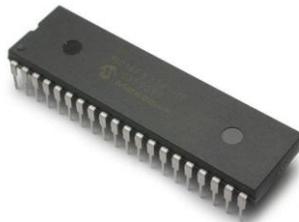


Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Microcontrolador.jpg>

6.4.1 Microcontrolador PIC

Los PIC o controladores de interfaz periférico son una familia de micro controladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

Figura 32. Microcontrolador PIC



Fuente: <http://www.microcomsolutions.com/images/pic16f877a.jpg>

El PIC original se diseñó para ser usado con la nueva central de procesamiento o CPU de 16 bits CP16000. El PIC utilizaba micro código simple almacenado en memorias de solo lectura "ROM" para realizar estas tareas y aunque el término no se usaba por aquel entonces, se trata de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada 4 ciclos del oscilador.

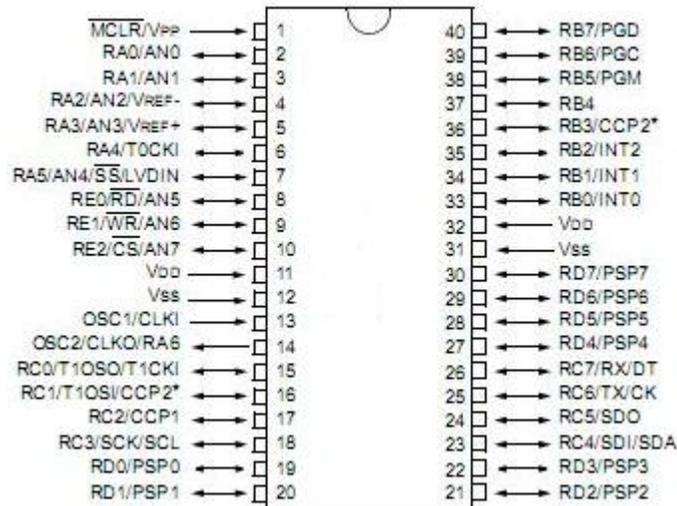
A continuación se describen varias características que señalan la arquitectura interna del PIC y su entorno de programación:

- Juego de instrucciones y entorno de programación: El PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, el microchip proporciona un entorno de desarrollo *freeware* llamado MPLAB que incluye un simulador *software* y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C y BASIC. Microchip también vende compiladores para los PIC`s de gama alta

("C18" para la serie F18 y "C30" para los dsPIC`s) y se puede descargar una edición para estudiantes del C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

- Arquitectura central. La arquitectura del PIC está caracterizada por las siguientes prestaciones:
 - Área de código y de datos separadas.
 - Un reducido número de instrucciones.
 - La mayoría de las instrucciones se ejecutan en un solo ciclo de ejecución o a 4 ciclos de reloj, con ciclos de único retraso en las bifurcaciones y saltos.
 - Todas las posiciones de la memoria RAM funcionan como registros de origen y/o de destino de operaciones matemáticas y otras funciones.
 - Una pila de *hardware* para almacenar instrucciones de regreso de funciones.
 - Una relativamente pequeña cantidad de espacio de datos direccionables, típicamente 256 bytes, extensible a través de manipulación de bancos de memoria.
 - El espacio de datos está relacionado con el CPU, puertos y los registros de los periféricos.
 - El contador de programa está también relacionado dentro del espacio de datos y es posible escribir en él, permitiendo saltos indirectos.

Figura 33. Diagrama interno de un microcontrolador PIC



Fuente:

http://www.unicauca.edu.co/isa/images/stories/USUARIOS/18f452_pin_diagram.jpg

A diferencia de la mayoría de otros CPU, no hay distinción entre los espacios de memoria y los espacios de registros, ya que la memoria RAM cumple ambas funciones y esta es normalmente referida como "archivo de registros" o simplemente, registros.

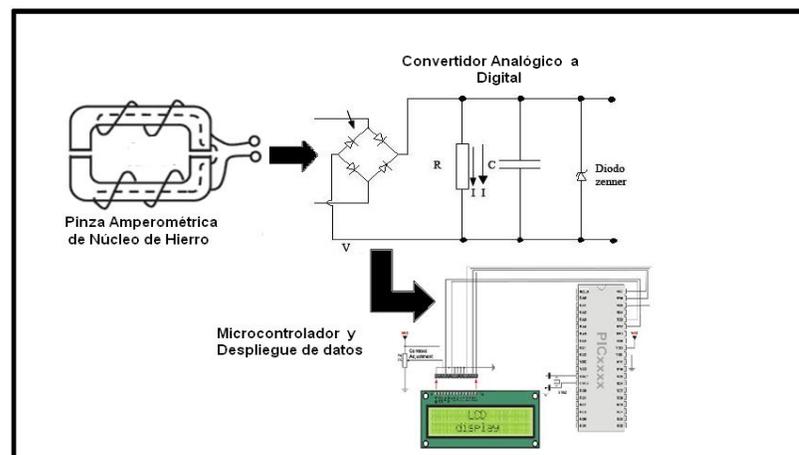
- Espacio de Memoria: los microcontroladores PIC tienen una serie de registros que funcionan como una memoria RAM de propósito general. Los registros de propósito específico para los recursos de hardware disponibles dentro del propio chip también están direccionados en la memoria RAM. La direccionabilidad de la memoria varía dependiendo la línea de dispositivos y todos los dispositivos PIC tienen algún tipo de mecanismo de manipulación de bancos de memoria que pueden ser usados para acceder a una memoria adicional.

- Tamaño de palabra: el tamaño de palabra de los microcontroladores PIC es fuente de muchas confusiones. Todos los PIC`s, excepto los dsPIC, manejan datos en trozos de 8 bits, por lo que se deberían llamar microcontroladores de 8 bits.
- Programación del PIC: para transferir el código de un ordenador al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PIC`s que distribuye Microchip hoy en día incluye una programación de serie incorporada “ICSP” o programación a bajo voltaje “LVP”, lo que permite programar el PIC directamente en el circuito destino. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7, en algunos modelos pueden usarse otros pines como el GP0 y GP1 o el RA0 y RA1 como reloj, datos y el MCLR, como se puede observar en la figura 33, para activar el modo programación aplicando un voltaje de 13 voltios.
- Existen muchos programadores de PIC`s, desde los más simples, que dejan al *software* los detalles de comunicaciones, hasta los más complejos, que pueden verificar el dispositivo a diversas tensiones de alimentación e implementan en hardware casi todas las funcionalidades.
- Los entornos de programación basados en intérpretes BASIC, están al alcance de cualquier proyecto que, por ambicioso que fuera, lo mejor es que el código final sea traducido directamente a .HEX, con lo que disponemos fácilmente de programas bastante rápidos, al nivel de máquina, contrario a lo que los detractores de BASIC afirman.

6.5 Diseño del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica como medio para controlar el consumo de energía eléctrica

El medidor monofásico electrónico de energía eléctrica está diseñado para poder controlar el consumo de energía eléctrica y con ello poder comparar con el medidor de energía eléctrica que nos suministra la empresa comercializadora de energía eléctrica. Con esta comparación se hace conciencia en la población del consumo eléctrico en un hogar y con ello obtener un ahorro significativo en el recibo de luz; su diseño lo hace versátil y práctico, ya que cualquier persona, aun si no tiene conocimientos previos de electricidad y electrónica, pueda conectarlo a la línea viva del suministro de energía eléctrica y con ello verificar el consumo de energía eléctrica y ver cuánto dinero está gastando respecto al kWh consumido. En la figura 34, se describe un diagrama de bloques de cada uno de los dispositivos que se utilizaron para el diseño del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica.

Figura 34. Diagrama de bloques de dispositivos utilizados medidor monofásico electrónico de energía eléctrica



Fuente: Propia

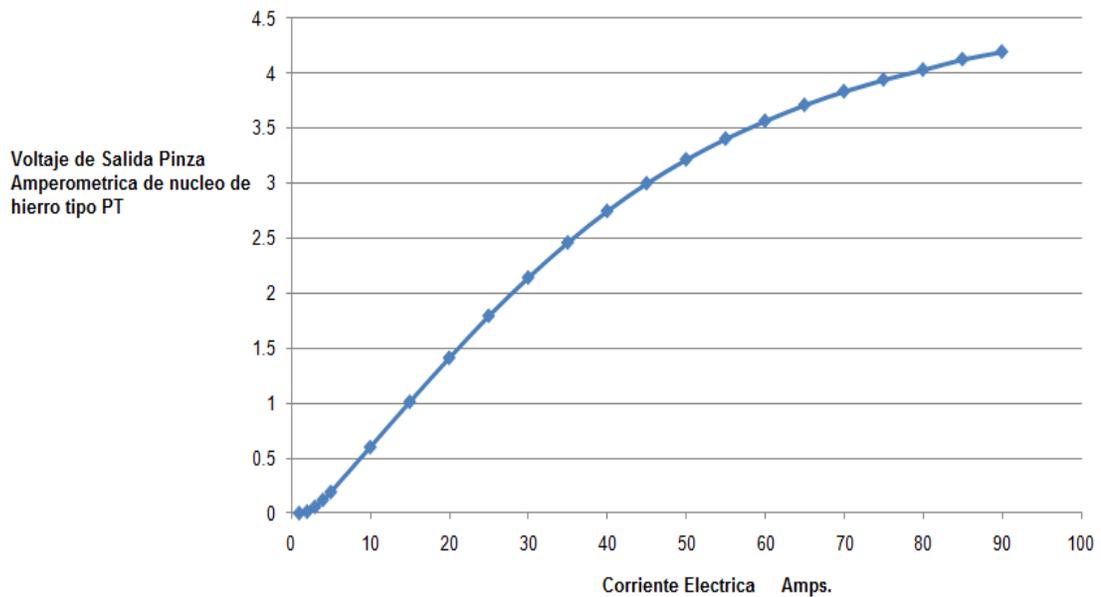
En la Figura 34, se definen los elementos utilizados en el medidor monofásico de energía eléctrica. Como primer elemento se utiliza una pinza amperométrica de núcleo de hierro tipo PT (Transformador de Potencial), ya que esta pinza, a pequeños cambios de corriente en el conductor donde se realice la medición de energía, produce cambios considerables de voltaje en el secundario de la pinza amperométrica. Este comportamiento lo podemos visualizar en la tabla de mediciones y en la siguiente grafica del comportamiento de la pinza a variaciones de corriente:

Tabla XII. Comportamiento pinza amperométrica de núcleo de hierro tipo PT

Bajas corrientes AC		Medias corrientes AC		Altas corrientes AC	
Amp.	Volt.	Amp.	Volt.	Amp.	Volt.
1	0.00143	25	1.794	65	3.71
2	0.01483	30	2.142	70	3.834
3	0.05813	35	2.46	75	3.94
4	0.121	40	2.746	80	4.03
5	0.1933	45	2.998	85	4.125
10	0.601	50	3.215	90	4.193
15	1.012	55	3.403	95	4.27
20	1.1412	60	3.565	100	4.312

Fuente: Propia

Figura 35. Comportamiento pinza amperométrica de núcleo de hierro tipo PT



Fuente: propia

Como se puede observar en la figura 35, el comportamiento de la pinza amperométrica tiende a mostrar un comportamiento muy variable similar al de una función logarítmica, esto hace que el comportamiento de dicho dispositivo no sea lineal. Para poder obtener una lectura de la energía consumida se necesitan métodos matemáticos que se describirán en la siguiente sección.

La señal de voltaje requiere de un acondicionamiento mediante un circuito convertidor analógico a digital, el cual debe fijar el voltaje a niveles adecuados para la siguiente etapa de la adquisición de los datos del PIC. Este circuito básicamente, está formado por un puente de diodos, una resistencia de 10K, un capacitor de 47uF y un diodo zener de 4.8 V.

6.5.1 Descripción del Software

Se utilizó lenguaje BASIC, específicamente PIC SIMULADOR IDE, programa especializado para programación de microcontroladores PIC'S. El funcionamiento del programa consiste en interpretar una salida analógica, previamente condicionada para representar dicha señal en función de la corriente y voltaje. Dado la limitante de los puertos analógicos del micro controlador (PIC16F877A), el cual tiene la capacidad de muestrear una señal en 10 bits, o su equivalente de 1024 muestras, el cálculo e interpretación en el micro controlador está limitada a este número de muestras.

Las primeras líneas de programación definen el funcionamiento y configuración de la pantalla LCD a utilizar, en ella se define el tipo de transmisión y los pines a utilizar de parte del microcontrolador para envío de datos.

Continúa con un pequeño submenú para determinar la región en que se ubica el usuario a utilizar el medidor monofásico de energía eléctrica, el cual tiene como opciones, Región Central, Región Occidental y Región Oriental. Con este submenú se puede determinar el precio a elegir ya que para cada región difieren los precios para el cobro de la energía eléctrica y con ello poder determinar el valor del kilowatt hora consumido.

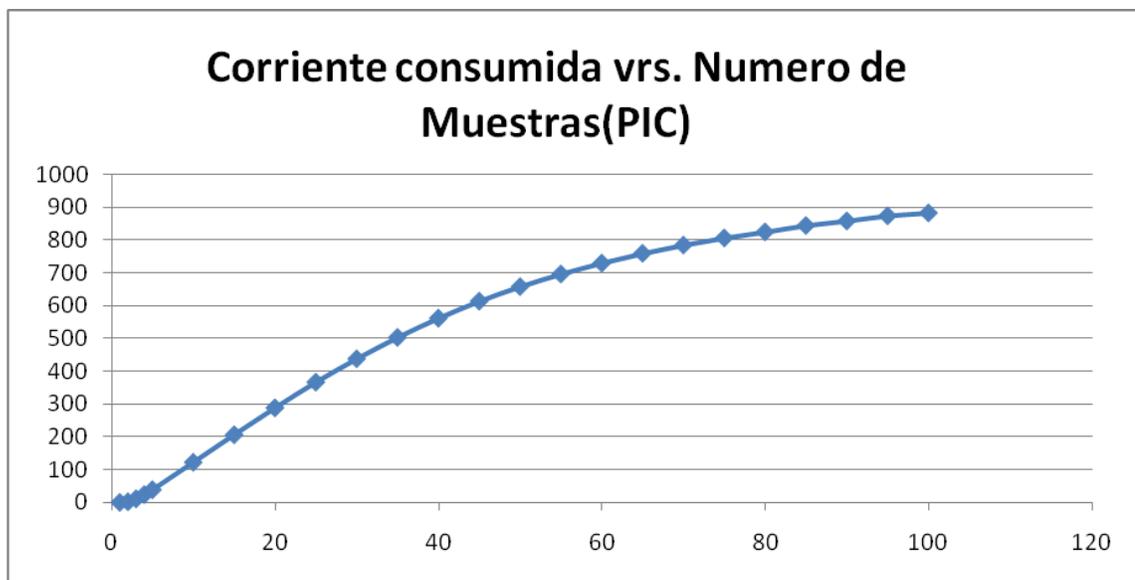
Para una buena representación de la potencia consumida (como se observa en la figura 27, esta no tiene un comportamiento lineal de la Pinza amperométrica de núcleo de hierro tipo PT) se plantean modelos matemáticos, mediante varias rectas e interpolaciones a fin de calcular lo más aproximado posible al valor real. Por lo que se realizó el cálculo subdividiendo en varias rectas debido a la limitante de la memoria interna del microcontrolador utilizado. En un principio se considero el modelado de curva mediante polinomios de

grado 5 y 6 para aproximarse más al modelo real, sin embargo por el poco espacio en memoria, no se utilizó dicho método.

En la etapa en la que se muestran resultados, se tiene condicionada la forma en que son dados, la potencia instantánea, la energía y el tiempo, así como un botón para determinar y mostrar el precio a pagar acumulado.

El software tiene condicionado el rango, el cual interpreta corrientes hasta 100 amperios, equivalente a su forma muestreada que es representado con 882, fuera de este rango muestra OVERLOAD o sobre flujo. También es mostrado el número de muestras cada dos segundos, tiempo acumulado.

Figura 36. Comportamiento del Pic con relacion a su Programación



Fuente: Propia

Tabla XIII. Comportamiento del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica

Corriente Consumida (Amp.)	Voltaje en Etapa de Rectificación (Volt.)	No. Muestras (PIC)	Potencia Activa Consumida (W)
1	0.00143	1	120
2	0.01483	3.034	240
3	0.05813	11.89	360
4	0.121	24.76	480
5	0.1933	39.55	600
10	0.601	123	1200
15	1.012	207.1	1800
20	1.412	288.9	2400
25	1.794	367.1	3000
30	2.142	438.3	3600
35	2.46	503.3	4200
40	2.746	561.8	4800
45	2.998	613.4	5400
50	3.215	657.8	6000
55	3.403	696.3	6600
60	3.565	729.4	7200
65	3.71	759.1	7800
70	3.834	784.4	8400
75	3.94	806.1	9000
80	4.03	824.5	9600
85	4.125	844	10200
90	4.193	857.9	10800
95	4.27	873.6	11400
100	4.312	882.2	12000

Fuente: Propia

6.6 Beneficios de la utilización de medidor monofásico electrónico de energía eléctrica

Entre los beneficios de la utilización de los medidores monofásicos electrónicos de energía eléctrica se encuentran:

6.6.1 Beneficios en el hogar

Es de vital importancia especificar los beneficios de la utilización de los medidores electrónicos digitales de energía eléctrica aplicados a las utilidades domésticas. Como se estableció con anterioridad, los precios de la tarifa social en Guatemala, sumado al impuesto de distribución que se aplica, van más allá del presupuesto de la familia guatemalteca promedio. A título personal, la aplicación del medidor electrónico explicado con anterioridad tiene todas las ventajas necesarias para su aplicación, delimitando esos beneficios de la siguiente manera:

- La persona encargada del pago de la tarifa eléctrica tendrá el control necesario de consumo de energía eléctrica que realiza, él y toda su familia; como consecuencia hará un estudio comparativo fehaciente del gasto mensual que realiza de energía eléctrica.
- Asimismo, podrá hacer una reducción de costos mensuales, beneficiando de alguna medida su bolsillo, ya que el medidor despliega a un determinado tiempo la cantidad de energía por hora consumida y a la vez despliega el costo en Quetzales de lo que lleva consumido, esto lo realiza dependiendo la región donde se encuentre la persona.

- Habrán beneficios también para el distribuidor del servicio público, ya que después de constatar que el medidor electrónico de energía eléctrica trabaja en óptimas condiciones, las personas no podrán quejarse de forma alguna de cobros excesivos de consumo.

6.6.2. Beneficios para la industria

La industria obtendrá diversos beneficios, todos de vital importancia, al aplicar los medidores electrónicos de energía eléctrica, entre ellos beneficios económicos, de reducción de gastos y de control de consumo mensual. Además habría beneficios tecnológicos en aplicación de métodos y técnicas de vanguardia, para obtener mejores estándares de calidad. Incluso el aspecto social estadístico se ve influenciado, ya que al reducir los gastos, mejoraría la calidad del producto final, debido a que el inversionista industrial aportaría más esfuerzo en aumentar la calidad y en mejorar el precio del producto final, consecuencia de la reducción del precio-costo que obtendría por el ahorro en gastos de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

1. La generación de energía eléctrica, por medio de energías renovables es la que se producen aprovechando fenómenos naturales: sol, cauce natural del agua, viento, biomasa, olas, calor de la tierra, etc.; de manera que pueden considerarse inagotables porque los procesos naturales son capaces de reequilibrar con el tiempo los recursos que consume el humano.
2. En Guatemala, la generación de energía renovable que predomina es la hidroeléctrica, ya que el país cuenta con una diversidad de recursos hídricos para su generación, como ríos y lagos. Además, es una de las energías renovables que genera mayor cantidad de voltaje para ser utilizado.
3. La red de distribución de la energía eléctrica o sistema de distribución de energía eléctrica, es un subsistema del sistema eléctrico de potencia cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.
4. El proceso de medición de energía eléctrica en los hogares y en la industria, permite determinar el costo de la energía que el usuario consume de acuerdo a las políticas de precio de la empresa distribuidora de energía eléctrica, considerando que la energía eléctrica tiene costos de producción diferentes dependiendo de la región, época del año, horario del consumo, hábitos y necesidades del usuario.

5. Todas las formas de generación de energía contaminan el ambiente, sin embargo, si la misma es controlada y llevada a valores razonables desde los puntos de vista técnico, ambiental y económico, los daños causados al medio son bajos, comparado con el beneficio que esta actividad otorga a la calidad de vida humana.
6. La facturación por energía eléctrica en Guatemala, debe seguir un proceso y una forma de cobro con base en a los precios establecidos entre las empresas de electricidad y la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y las autoridades del país regidas en base a los reglamentos de las anteriores entidades.
7. El uso del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica ayuda a comparar el gasto mostrado en la factura emitida por la empresa que suministra el servicio de energía eléctrica y la cantidad que emite el aparato, permitiendo así llevar un mejor control de la energía eléctrica consumida, tanto en kWh como en quetzales.
8. El medidor monofásico electrónico de energía eléctrica, contribuye a la conservación del medioambiente ya que el usuario podrá visualizar el consumo que realiza día a día, tomando conciencia de utilizar solo la energía eléctrica que se necesite.

RECOMENDACIONES

1. Los usuarios de energía eléctrica deben considerar el uso del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica como un medio de comparación respecto del medidor de energía eléctrica que se encuentran en hogares e industrias suministrado por la empresa eléctrica.
2. Como estrategia administrativa la empresa comercializadora de energía eléctrica en Guatemala podría promoverse la participación activa del usuario de la energía eléctrica con el uso del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica, ya que así ambos podrán obtener un mejor control del consumo de la energía que se utiliza.
3. La instalación del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica puede ser realizada por cualquier persona, ya que su diseño y uso son fáciles para cualquiera; aunque se recomienda que se consulte un técnico electricista certificado que pueda identificar la conexión a la línea viva del suministro de energía eléctrica, ya que se pueden provocar accidentes si no se realiza la conexión correctamente.
4. Para obtener datos coherentes y sin fallas en la medición de energía eléctrica, se debe colocar la línea viva en la parte de en medio de la pinza amperométrica y que no toque los bordes de dicha pinza, de esta manera se puede obtener una medición más eficiente y con menos errores en la lectura de datos del microcontrolador.

5. Es necesario que los usuarios del medidor monofásico electrónico de energía eléctrica, realicen cada seis meses evaluaciones preventivas de fallas en dicho dispositivo por deterioro de los componentes que lleva y así evitar supervisiones correctivas.

6. Los usuarios deben de tener más conciencia sobre el consumo que realizan de energía eléctrica, ya que es un recurso de uso diario y si no se tiene el cuidado necesario para su uso, se puede desperdiciar y las consecuencias se reflejan en los costos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amperímetro.2010.En internet :<http://es.wikipedia.org/wiki/0&//Amp.html>
2. COOPER W. D. y Helfrick Albert D. **Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición**, 1ra Edición, México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana 1991. 230 páginas.
3. Energía eléctrica y el medio ambiente. 2007. En internet: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi98/energia-ambiente.html>
4. Galvanómetro D'Ansoval, instrumentación y mecanismo.2008.En internet: <http://www.scribd.com/doc/8244433/Galvanometro-d>.
5. HAYT William H., **Teoría Electromagnética**, 7ma. Edición, México: Editorial McGraw Hill, 2006, 326 páginas.
6. Inducción de energía electromagnética. 2009. En internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Inducci%C3%B3n_electromagn.html
7. JOHNS, C.T.A. **Teoría Electromagnética Campos y Ondas**, 5ta. Edición, México: Editorial Limusa/Noriega S.A. de C.V. 1993, 675 páginas.

8. Martínez, Roberto. Contadores de Energía Eléctrica. España: Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad Regional de Mendoza, 97 páginas.
9. Microcontrolador.2009.Eninternet:<http://es.wikipedia.org/wiki/Micro.html>.
10. Microcontrolador PIC, arquitectura y programación. 2010. En internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC.
11. Multímetro.2009. En internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Multímetr.html>.
12. Óhmetro.2010. En internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/&1/óhmetro.html>.
13. Sánchez, Manuel y F. Sánchez. **Manual de instalaciones eléctricas Adaptado al Código Técnico de la Edificación (CTE) y al Nuevo Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (R. D.)**, 3ra. Edición. Madrid: Editorial A 1994. 80 páginas.
14. Sedra Adel S. y Kenneth. C. Smith. **Circuitos Microelectronicos**, 4ta. Edición, México: Editorial Oxford University, Press, 1999, 1237 páginas
15. Voltímetro.2010. En internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/voltimetro.html>.