

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGON

“Aplicación de medidores inteligentes. Proyecto Wal-
Mart México (Operadora Vips, S de RL de CV)”.

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

MARTIN ALFONSO MENDOZA TAVERA
DAZAET OROZCO VALDEZ

NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO A 5 DE OCTUBRE
DE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION	4
CONCEPTOS BÁSICOS	7
1.1. EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MUNDO ATRAVES DEL TIEMPO.	7
1.2. SUMINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO	9
1.3. INFORMACIÓN GENERAL	14
1.3.1. ELECTRICIDAD	14
1.3.2. CORRIENTE ELECTRICA Y CAMPOS MAGNETICOS ASOCIADOS	15
1.3.3. VOLTAJE	15
1.3.4. CORRIENTE DIRECTA Y CORRIENTE ALTERNA	16
1.3.5. CORRIENTE DIRECTA	18
1.3.6. CORRIENTE ALTERNA	18
1.3.7. CORRIENTE DIRECTA VS. CORRIENTE ALTERNA	18
1.3.8. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA	19
1.3.9. ONDA SINUSOIDAL DE CA	20
1.3.10. RESISTENCIA.....	23
1.3.11. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA	24
1.3.12. MEDIDA DE LA RESISTENCIA	26
1.3.13. RELACIÓN ENTRE VOLTAJE, CORRIENTE Y RESISTENCIA.	27
1.3.14. LEY DE OHM	29
1.3.15. POTENCIA, PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y ENERGÍA	30
1.3.16. PÉRDIDAS DE ENERGÍA.....	32
1.3.17. RELACIÓN ENTRE VOLTAJE, CORRIENTE, RESISTENCIA Y POTENCIA.....	33
1.3.18. ENERGÍA	34
1.3.19. CIRCUITO ELÉCTRICO	35
1.3.20. LEYES DE KIRCHOFF, DE CONSERVACION DE LA CORRIENTE Y TENSION EN CIRCUITOS	38
1.3.20.1. PRIMERA LEY O LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA CORRIENTE.....	38
1.3.20.2. SEGUNDA LEY O LEY DE CONSERVACIÓN DE LA TENSIÓN	39
1.3.21. CIRCUITOS EN SERIE.....	40
1.3.22. CIRCUITOS EN PARALELO	41
1.3.23. EQUIVALENTES DE RESISTENCIAS EN SERIE Y EN PARALELO	41
1.3.24. CIRCUITOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS	42
1.3.25. RELACIÓN ENTRE VOLTAJES EN UN CIRCUITO TRIFÁSICO CON CONEXIÓN EN ESTRELLA	46
1.3.26. SOBRECORRIENTES	46
1.3.27. SOBRECARGAS	47
1.3.28. CORTOCIRCUITOS.....	47
1.3.29. FALLAS A TIERRA	47
1.3.29.1 CIRCUITOS ALIMENTADORES Y DERIVADOS.....	49
1.3.30. RED ELÉCTRICA.....	51
MEDICION DE ENERGIA ELECTRICA	54
2.1. GALVANÓMETRO	54
2.1.1. PRINCIPIO DEL GALVANÓMETRO	55
2.2. ELECTRODINAMÓMETRO	56
2.2.1. FUNCIONAMIENTO DEL ELECTRODINAMÓMETRO	57
2.3 VOLTÍMETRO	57
2.3.1. FORMA DE TOMAR UNA MEDICIÓN DE VOLTAJE	58
2.4. CORRIENTE	59

2.4.1. AMPERÍMETRO	59
2.4.2. FORMA DE MEDIR LA CORRIENTE	60
2.5. VATÍMETRO	60
2.6. POTENCIA APARENTE	62
2.7. POTENCIA REAL O ACTIVA	62
2.8. WATTHORÍMETRO	62
SMART GRID (RED ELECTRICA INTELIGENTE)	66
3.1. SISTEMAS SCADA	66
3.2. DMS (SISTEMA MANEJADOR DE DOCUMENTACIÓN).....	67
3.3. OMS	67
3.4. SMART GRID	67
3.5. TECNOLOGÍAS QUE EXISTEN EN LA SMART GRID	72
3.5.1. AUTOMATIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN	72
3.5.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA	73
MEDIDORES INTELIGENTES	75
4.1. EVOLUCION DE LOS MEDIDORES INTELIGENTES	76
4.2. MEDIDORES INTELIGENTES.....	78
4.2.1 BENEFICIO DE LOS MEDIDORES INTELIGENTES.....	80
4.2.2. MEDIDORES INTELIGENTES INALÁMBRICOS.....	83
4.2.3 MEDIDORES INTELIGENTES DE RED FIJA	84
4.2.4. VENTAJAS DEL MEDIDOR INTELIGENTE	86
4.2.5. LOS BENEFICIOS DE LA MEDICIÓN INTELIGENTE DE LA UTILIDAD	87
4.2.6. DESVENTAJAS DEL CONTADOR INTELIGENTE	88
4.2.7. SOLUCIONES QUE DA UN SISTEMA DE MEDICION INTELIGENTE.....	89
APLICACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES, (VIP’S VALLEJO, MÉXICO D.F)	91
5.1 PROYECTO SUBMEDICION WAL-MART	91
5.1.1. EQUIPOS INSTALADOS	92
5.2. PROCESO DE INSTALACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	94
5.2.1. SOLUCION DE POSIBLES ERRORES	101
5.2.1.1. PH SEQUENCE ERROR.....	101
5.2.1.2. CT ERROR A, CT ERROR AB Y CT ERROR AC	101
5.2.1.3. OVERLOAD (SOBRECARGA)	101
5.2.1.4. PH-ANGLE (ABC).....	101
5.2.1.5. CHECK METER.....	101
5.2.1.6. LOW BATTERY	102
CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFIA	107

INTRODUCCION

La electricidad es sin duda alguna, el pilar del desarrollo industrial en todo el mundo, es el energético más utilizado y un elemento primordial para el desarrollo social y tecnológico.

La electricidad, juega un papel muy importante en la vida del ser humano, ya que con la electricidad, se establecen una serie de comodidades indispensables para el hombre, las cuales con el paso de los años y el desarrollo de la tecnología, hacen que esta se vuelva cada vez más imprescindible en su uso cotidiano.

Con el paso de los años, el desarrollo inminente de la tecnología y el crecimiento en el consumo de la electricidad, lo mejor es apostar por soluciones para una mejor administración.

Algunas de las soluciones que ofrecen las empresas para enfrentar el paradigma energético por el que atraviesa el planeta son simples, por ejemplo; el monitoreo de la electricidad y administración en tiempo real del consumo eléctrico en diversos espacios, como fábricas, plantas, centros comerciales o viviendas, por esta razón, la presente tesis, pretende como objetivo general, analizar el uso y aplicación de los medidores inteligentes para el control y monitoreo del consumo eléctrico aplicado de manera específica en el Vips Vallejo de la ciudad de México, de esta manera, dicha tesis se estructura de manera secuencial y en el primer capítulo se describen de manera general, los conceptos básicos de la electricidad necesarios para la comprensión de la tesis. En el segundo capítulo conoceremos algunos instrumentos de medición que son antecedente primordial de la medición inteligente. En el tercer capítulo se da una breve explicación de las redes inteligentes (smart grids) y su uso en el desarrollo óptimo de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. En el cuarto capítulo respectivamente, nos adentraremos a los medidores inteligentes conociendo su uso, sus aplicaciones y sus principales ventajas y desventajas en su uso comercial, industrial y residencial. En el

quinto capítulo se describirá una aplicación real de los medidores inteligentes utilizada para el control, administración y optimización de la energía eléctrica en el Vips Vallejo de la ciudad de México.

Uno de los objetivos particulares de la presente tesis es entender el uso de los medidores inteligentes para tener una mejor administración de los consumos eléctricos, así como un control adecuado, para poder llevar acabo mantenimientos preventivos y correctivos de equipos e instalaciones eléctricas y en consecuencia disminuir los costos en la facturación eléctrica, explicando las ventajas y beneficios que se obtienen al implementar un medidor inteligente, obteniendo información en tiempo real para su mejor aprovechamiento.

CAPITULO I

CONCEPTOS BÁSICOS.

CAPITULO I

CONCEPTOS BÁSICOS.

1.1. EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MUNDO ATRAVÉS DEL TIEMPO.

La historia de la electricidad empieza alrededor del año 600 antes de Cristo con Tales de Mileto (630-550 antes de Cristo) ya que el descubre lo que se le conoce como electricidad estática, esto sucedió al momento de frotar un pedazo de ámbar y darse cuenta que este poseía la propiedad de atraer algunos objetos. El primer tratado se hizo en el año 310 A.C. en este se establece que el ámbar no es el único material capaz de atraer otros objetos al ser frotado.

Los estudios sobre la electrostática y el magnetismo se dieron al estudiar los imanes, dicho estudio se realizo para poder tener una mejor exactitud en las brújulas, para que fueran usadas en la navegación, este estudio fue realizado por el Físico Real William Gilbert (1544-1603), el Físico fue el primero en aplicar el primer termino de electricidad del griego “ámbar=elektron “.

Es hasta el año 1672 que el Físico Alemán Otto von Guericke (1602-1686), desarrolla la primera máquina la cual era capaz de producir cargas eléctricas, dicha maquina es hecha por una bola de azufre torneada y una manija, la maquina electrostática funciona al inducir una carga y esto ocurre al momento de poner la mano en la esfera, el siguiente año es cuando el francés Francois identifica la existencia de dos cargas eléctricas como son las comúnmente llamadas cargas positivas (+) y cargas negativas (-).

En 1745 se construyó la primera pila eléctrica hecha por el Físico italiano Alessandro Volta. La tensión de volta se basa en la diferencia de potencial existente en una superficie de contacto entre 2 metales. El efecto volta fue utilizado para producir corriente eléctrica por medio de una pila la cual está construida de placas de cinc y cobre las cuales son intercaladas con tela empapada en salmuera. Es en ese mismo año fue construido el primer condensador eléctrico hecho por una botella de vidrio y electrodos de papel estaño, los cuales se encuentran dentro y fuera de la botella, con esta botella se almacenó por primera vez electricidad estática.

En 1819 un profesor danés de Física, Hans Christian Oersted, descubrió que la corriente a través de un conductor ejerce una fuerza magnética sobre los objetos de hierro cercanos.

Michael Faraday científico inglés, ideó el primer motor eléctrico el cual constaba de un alambre con corriente eléctrica alrededor de un imán el cual transformaba la electricidad en movimiento mecánico, pero fue el científico Josep Henry quien fabricó el primer motor eléctrico funcional el cual utilizaba la corriente de una pila. Faraday fue quien realizó varios experimentos los cuales demostraron que un imán en movimiento inducía una corriente eléctrica en un alambre, estos principios esbozados por Faraday llevaron a la invención de dinamo el cual podía producir electricidad sin la necesidad de sustancias químicas. En otro de sus experimentos en donde enrolló dos bobinas de alambre en un anillo de hierro, donde una de las bobinas estaba conectada a una pila y se podía obtener una corriente en la segunda bobina, la cual no se encontraba conectada, y de tal forma había inventado el transformador.

Gracias a Faraday se pudo dar la generación de la energía eléctrica por su descubrimiento del fenómeno de la inducción y con gran dinamismo su utilización fue creciendo de tal manera que en nuestros días la energía eléctrica es la más utilizada en las aplicaciones más comunes.

En 1879 se construyó la primera lámpara incandescente de Edison, aunque el funcionamiento se conocía desde mucho antes de su creación, ya que las primeras bombillas tenían un vacío imperfecto lo cual ocasionaba que se quemaran rápidamente debido al aire que se encontraba dentro. Pero Edison utilizó una nueva bomba de vacío neumática y gracias a eso se produjo la primera bombilla resistente y comercialmente viable con un filamento hecho por carbono.

En 1905 Albert Einstein postula que la energía es un haz de luminoso la cual está concentrada por pequeños grupos de fotones y no están distribuidas por el espacio de los campos eléctricos y magnéticos de la onda electromagnética, con este postulado fue capaz de explicar el efecto fotoeléctrico.

1.2. SUMINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

La generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX, instalando la primera planta generadora de energía eléctrica en 1879 ubicada en León Guanajuato, la cual fue utilizada por la fábrica textil "La Americana". Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública.

En 1881 da inicio el alumbrado público en el país cuando la Compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica se hace cargo del alumbrado público residencial en la capital de la República Mexicana.

Para 1885 la cañería que distribuía el gas para el alumbrado público en la capital era de 100 kilómetros, y se contaba con 50 focos de luz eléctrica, 2 mil faroles de gas y 500 de aceite para los barrios alejados del Centro.

En 1889 entró en operación la primera planta hidroeléctrica, en el estado de Chihuahua. De este modo, las plantas generadoras empezaron a cubrir las necesidades más allá de las fábricas y minas, atendiendo al comercio, al alumbrado público y a las residencias

Algunas compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales, como The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país; el consorcio The American and Foreign Power Company y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente.

A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones.

En ese período se dio el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz.

El 24 de agosto de 1937 se promulgó una ley por el presidente Lázaro Cárdenas con la cual se creó la Comisión Federal de Electricidad "CFE" donde el suministro de la energía eléctrica solo estaba siendo proporcionado a los centros urbanos y a una que otra zona rural, así como a ciertas instalaciones industriales, considerándose por primera vez como una actividad de utilidad pública.

En ese año la generación de electricidad correspondía a 457 MW con un 78% a las plantas hidroeléctricas y el 22% a las plantas termoeléctricas 50 años después en 1987 se alcanzó una generación de 23000 MW y su consumo por habitante era de 1500 KWh.

Sus líneas de transmisión de alta tensión estaban interconectadas mediante una red la cual abarcaba desde la frontera con Estados Unidos hasta la frontera con Guatemala, en esta época las plantas termoeléctricas podrían ser localizadas cerca de los centros de consumo ya que era más económico transportar el combustible o gas natural que transportar la electricidad.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, apenas el 44% de la población contaba con electricidad y fue con una propuesta del presidente Adolfo López Mateos en 1960, donde el gobierno federal adquirió los bienes de una empresa privada norteamericana la American and Foreign Power Company, creando la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz que contaba con 19 plantas generadoras que servían al Distrito Federal y a los estados de Puebla, México, Michoacán, Morelos e Hidalgo. Con esto la generación, transformación, distribución y abastecimiento de la energía eléctrica fuera un prestación del servicio público.

Además de los bienes citados la nación recibió el edificio situado en Melchor Ocampo No. 171, Colonia Tlaxpana, además de todos los demás inmuebles y muebles de las estaciones y plantas termoeléctricas e hidroeléctricas, así como equipos y materiales de oficina.

El presidente Adolfo López Mateos envió al senado el proyecto de reforma al Artículo 27 constitucional, el cual fue aprobado y publicado en el Diario Oficial el 23 de diciembre de 1960, quedando a partir de ese momento, consumada jurídica y financieramente la nacionalización de la industria eléctrica.

En 1963 se modificó la denominación social a Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. que tan sólo 11 años después iniciaría su liquidación, en 1974.

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización.

Ya al momento de ser un servicio público, se tenía que generar más energía eléctrica y las plantas generadora que se encontraban localizadas cerca de los centros de consumo se tuvieron que mover a donde tuvieran un acceso fácil a combustibles y agua para el enfriamiento y se situaron cerca de las refinerías de PEMEX donde el agua del mar es utilizada para el enfriamiento.

Para 1961 la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54%

En esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW.

Al finalizar esa década se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW.

Cabe mencionar que en los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes, llegando a coexistir casi 30 voltajes de distribución, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hertz.

Esta situación dificultaba el suministro de electricidad, por lo que se definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Posteriormente se unificaron las frecuencias a 60 Hertz y se integraron los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional.

En 1985 Compañía de LyFC y la CFE firman el Convenio de Delimitación de Zonas, donde la zona de influencia de la primera queda reducida en más del 50% de su extensión original, zonas de Michoacán y el estado de Guerrero pasan a manos de la Comisión Federal.

En 1994 un decreto presidencial descentraliza la Compañía de Luz y Fuerza del Centro y la transforma en Luz y Fuerza del Centro, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 kms, lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año.

Para finales de septiembre del 2001, la CFE y LyFC daban servicio a un total de 24 millones 609 mil clientes en todo el país. De todos estos clientes el 87.95% corresponde al sector Doméstico que aporta el 24.50% de las ventas de la CFE; el 10.32% al sector Comercial que aporta el 6.55% de las ventas; el 0.65% a Servicios con el 3.19% de las ventas; el 0.59% al Industrial del que se recauda el 59.33% de las ventas de energía; y el 0.49% al sector Agrícola que aporta el 6.43% de las ganancias anuales.

El sector eléctrico tiene una oportunidad de cobranza que ha aumentado ligeramente del 98.5% en 1998, al 98.8% en el 2001. Para el año 2001, del volumen de ventas totales de la CFE, el 0.18% se exporta; el 77.11% corresponden de ventas directas al público; el 22.71% se suministra a LyFC quien da servicio al Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos y Puebla.

En junio de 2003 entra en operación Teotihuacán, la quinta subestación en el anillo de 400 KV.

A partir octubre de 2009, CFE es la encargada de brindar el servicio eléctrico en todo el país.

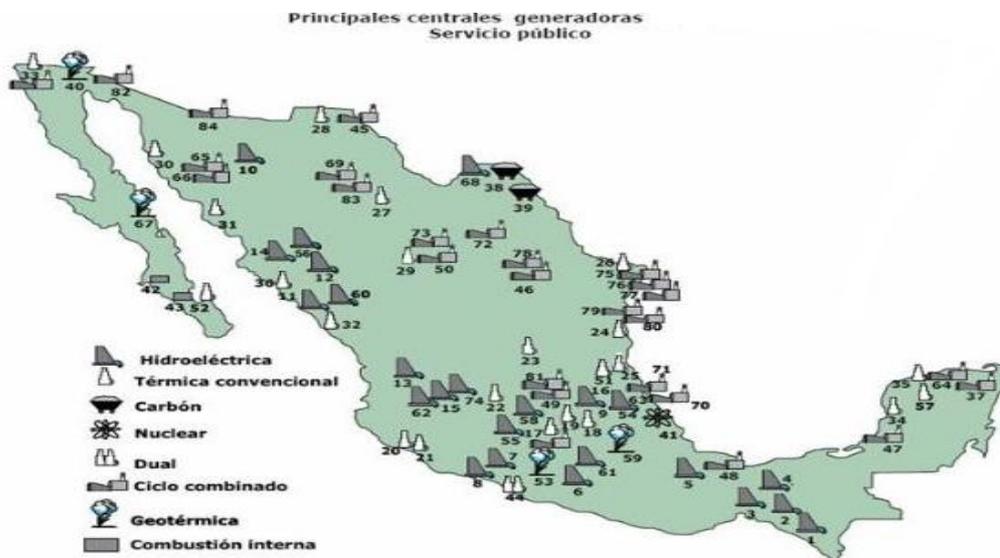


Fig.1 Principales centrales generadoras de energía eléctrica en México.

1.3. INFORMACIÓN GENERAL

1.3.1. ELECTRICIDAD

La electricidad es un conjunto de fenómenos físicos referentes a los efectos producidos por las cargas eléctricas tanto en reposo como en movimiento.

La electricidad puede definirse como el movimiento de las cargas eléctricas llamadas electrones. Los átomos de la materia contienen electrones que son partículas con cargas negativas. Los electrones se mueven alrededor del núcleo de su átomo, el cual contiene partículas cargadas positivamente llamadas protones. Normalmente las cargas positivas y negativas se encuentran en equilibrio en la materia. Cuando los electrones se mueven de su posición normal en los átomos, se observan efectos eléctricos.

1.3.2. CORRIENTE ELECTRICA Y CAMPOS MAGNETICOS ASOCIADOS

La corriente eléctrica es la electricidad en movimiento, es decir, un flujo continuo y controlado de electrones.

La ley de atracción y repulsión electrostática establece que un cuerpo cargado eléctricamente ejerce una fuerza de atracción y repulsión sobre las cargas de los cuerpos que se encuentran a su alrededor; la zona en que se manifiestan estas fuerzas se llama campo eléctrico.

Esta fuerza invisible fue llamada fuerza electromotriz (FEM: trabajo efectuado para mover una carga entre dos puntos determinados).

1.3.3. VOLTAJE

El flujo de electrones requiere mantener una fuerza o presión (voltaje) que empuje los electrones en forma continua. Esta fuerza generalmente se conoce con el término de *fuerza electromotriz* o *FEM*.

El voltaje o la FEM es la diferencia de la carga eléctrica entre dos puntos. Con el fin de mantener esta diferencia, debe existir un exceso de

electrones en un cierto lugar y una deficiencia o falta de electrones en otro lugar.

El voltaje es la presión o diferencia de potencia eléctrica de una carga entre dos puntos en un circuito eléctrico o campo eléctrico, es decir, el trabajo realizado por una fuerza externa (invisible) para mover la carga de un punto a otro.

La unidad de medida es el *volt* o *voltio*. El aparato que usamos para medir este parámetro eléctrico es el *voltmetro* o *voltímetro*, el cual se conecta en paralelo a la línea para efectuar la medición.

El voltaje es comúnmente representado por los símbolos E o V y se le conoce como tensión, potencial y FEM (fuerza electromotriz).

1.3.4. CORRIENTE DIRECTA Y CORRIENTE ALTERNA

La corriente eléctrica es el flujo continuo y controlado de electrones en un circuito eléctrico.

Cuando se tiene una fuente de voltaje conectada a través de conductores a un dispositivo, las cargas eléctricas fluyen desde un polo hacia otro; a este flujo se le llama corriente eléctrica y es el indicador de la cantidad de flujo hacia algún punto. La intensidad de corriente se conoce como la variación de carga con respecto al tiempo y su intensidad se mide en coulombs por segundo; esta unidad se denomina *ampere* o *amperio*.

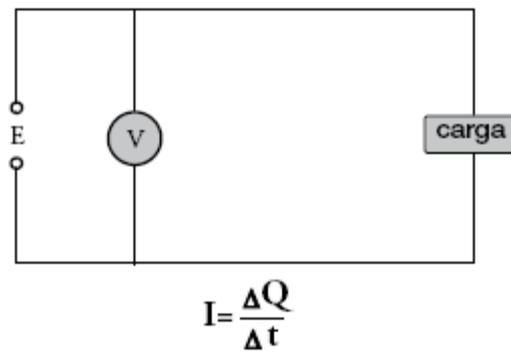


Fig.2. Medición de voltaje con Voltímetro.

Donde:

ΔQ = Incremento de la carga [c]

Δt = Incremento del tiempo [s]

I = Intensidad de corriente eléctrica [A]

El aparato que se utiliza para medir la corriente eléctrica es el ampermetro o amperímetro.

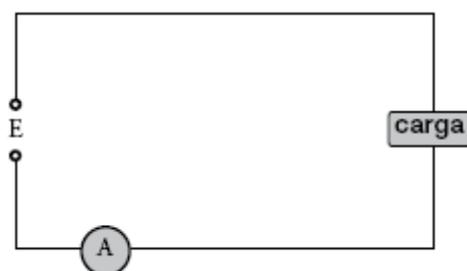


Fig.3 Medición de corriente con Amperímetro.

La corriente eléctrica generalmente es clasificada en dos tipos: corriente directa y corriente alterna.

1.3.5. CORRIENTE DIRECTA

La corriente directa (cc), también conocida como corriente continua, siempre fluye en la misma dirección. Los electrones fluyen en una sola dirección pues la polaridad del voltaje o de la fuente de la FEM es la misma; una de las terminales o polos de la batería es siempre positiva y la otra negativa.

Los electrones fluyen desde la terminal negativa (*polo negativo*) de la fuente de voltaje, recorren el circuito y retornan a la terminal positiva (*polo positivo*).

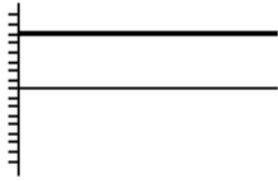
Algunos ejemplos claros de fuentes de corriente continua son: la pila seca, el acumulador de un automóvil, un generador de cc o un rectificador de corriente.

1.3.6. CORRIENTE ALTERNA

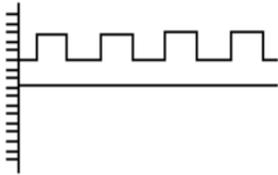
Una fuente de corriente alterna produce un voltaje que regularmente se va alternando, aumentando desde cero hasta un máximo positivo y decreciendo desde este máximo hasta cero, para volver a aumentar hasta un valor máximo negativo y decrecer hasta llegar nuevamente a cero; a esta variación completa se le llama *ciclo*. La corriente alterna (ca) es un tipo de corriente cuya polaridad se invierte periódicamente.

1.3.7. CORRIENTE DIRECTA VS. CORRIENTE ALTERNA

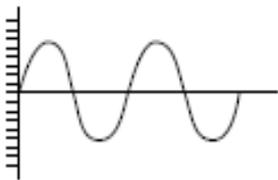
La corriente directa siempre fluye en una sola dirección. Si observamos en el gráfico de la pantalla de un osciloscopio, la corriente directa siempre aparece de un solo lado del eje de las ordenadas o del cero, pues su polaridad nunca cambia.



- cc estable La corriente directa que nunca cambia en magnitud (o nivel de corriente) se denomina cc estable. Las baterías producen cc estable.



- cc pulsante La cc pulsante (*pulsating*) cambia de magnitud, pero en el osciloscopio siempre aparece sobre el mismo lado del eje del cero o de las ordenadas, ya que su polaridad siempre es constante.



- Corriente alterna La corriente alterna cambia tanto en magnitud como en su dirección. En el osciloscopio , el voltaje y la corriente aparecen a ambos lados del eje del cero o de las ordenadas, según la polaridad del voltaje se alterne y la corriente cambie de dirección.

1.3.8. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La corriente alterna se genera mediante un efecto eléctrico llamado *inducción electromagnética*.

La inducción electromagnética es la capacidad que tiene un campo magnético de generar una FEM que origina una corriente en un conductor, sin necesidad del contacto físico.

Aunque el conductor y el campo magnético no se encuentren físicamente conectados, el voltaje es inducido en el conductor cuando éste se mueve por el campo magnético, o cuando el campo magnético se mueve a lo largo del conductor.

Cuando el conductor se vuelve parte del circuito, la corriente fluye en este último.

Los generadores transforman el movimiento rotatorio en flujo de corriente. El voltaje se genera cuando se rota una bobina dentro de un campo magnético.

Los motores de ca dependen también de la inducción electromagnética; transforman el flujo de la corriente en movimiento.

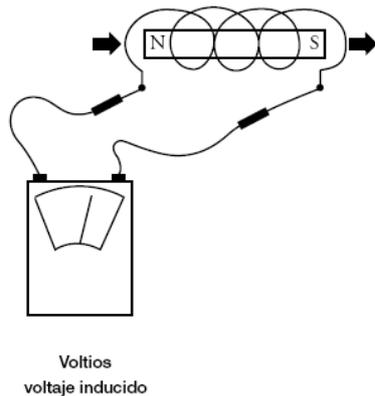


Fig.4 volts (voltaje inducido)

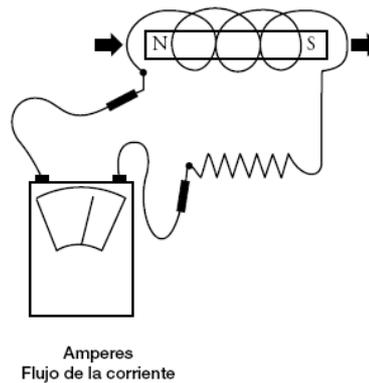


Fig.5 Amperes (Flujo de corriente)

1.3.9. ONDA SINUSOIDAL DE CA

La rotación de un imán frente a una bobina origina en ésta una *corriente alterna*. La corriente eléctrica inducida obtenida tiene una forma llamada *sinusoidal*.

El voltaje y corriente alterna producido por el movimiento rotatorio de un generador asumen la forma de una onda o curva sinusoidal: ésta es la forma más común de voltaje y corriente alterna. Cuando el conductor gira dentro de un campo magnético, corta, según una proporción variable, las líneas magnéticas de fuerza. En consecuencia de lo anterior, el voltaje varía según un esquema regular y repetitivo.

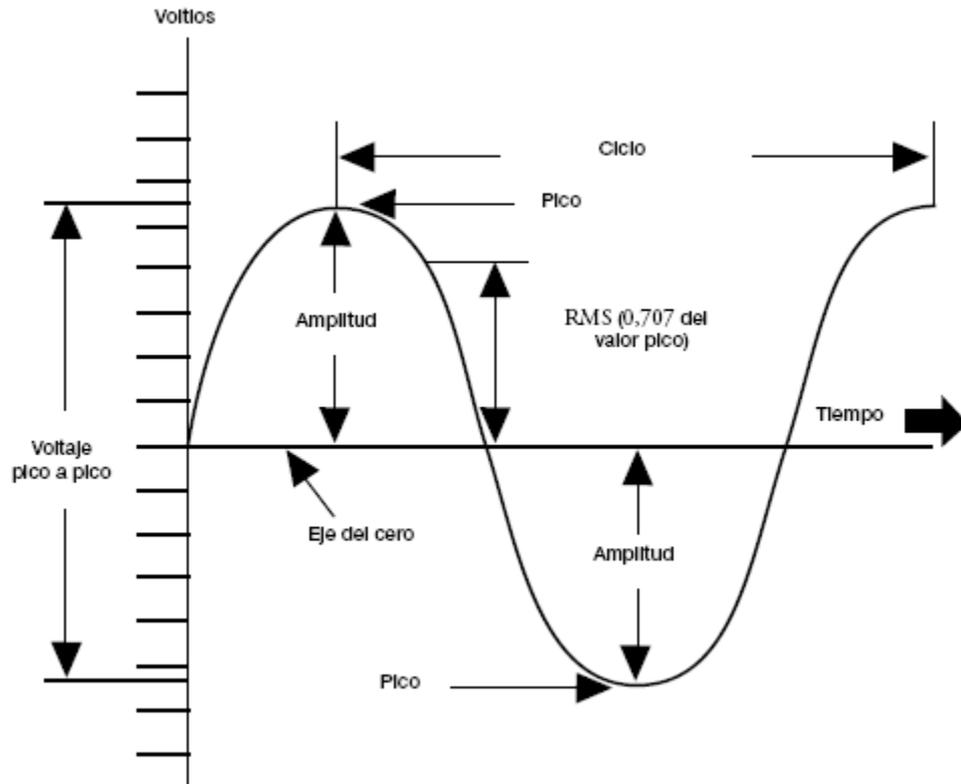


Fig.6. Onda Sinusoidal

Las ondas sinusoidales son medidas y comparadas de acuerdo con ciertas características.

1. La *amplitud* de la onda sinusoidal nos indica el máximo valor de corriente o de voltaje; éste puede ser positivo o negativo.

2. Un *ciclo* es una repetición completa de la forma de la onda. Esto lo produce una revolución (vuelta) completa (360°) del conductor dentro del campo magnético. En cada ciclo se dan dos inversiones y dos máximos.

La curva sinusoidal logra el máximo en la dirección positiva a los 90° , atraviesa el eje de las ordenadas o del cero a los 180° , alcanza el máximo negativo a los 270° , después alcanza el cero una vez más a los 360° .

3. La *frecuencia* es el número de ciclos por segundo. Entre mayor sea el número de ciclos por segundo, mayor será la frecuencia. Entre mayor sea la frecuencia, menor será la cantidad de tiempo por ciclo.

La mayoría de la corriente alterna se genera a los 60 ó 50 ciclos por segundo.

La amplitud y la frecuencia son valores independientes. Dos curvas pueden tener la misma amplitud y la misma frecuencia, la misma amplitud pero diferente frecuencia, amplitud diferente pero la misma frecuencia, amplitud diferente y frecuencia diferente.

4. *Hertz* es el término empleado para los ciclos por segundo: 60 hertz = 60 ciclos/segundo.

5. *Voltaje pico a pico* es el voltaje medido entre los puntos máximo positivo y máximo negativo de una onda sinusoidal. Es igual al doble de la amplitud de onda.

6. *Voltaje o corriente de RMS* (valores efectivos o cuadrado de la media de valores pico) es una media estándar al medir la corriente o el voltaje alterno. $RMS = 1/\sqrt{2}$ por el valor del pico (la amplitud de la onda sinusoidal).

7. La línea horizontal que atraviesa el centro de la onda sinusoidal se llama *eje del cero*.

a) Todos los valores por encima del eje del cero son valores positivos; todos los valores por debajo del eje del cero son valores negativos.

b) Tanto el voltaje como la corriente *negativa* realizan el mismo trabajo que la corriente y voltaje positivo. La única diferencia es que la polaridad del voltaje es opuesta y que la corriente fluye en la dirección contraria. Producen la misma cantidad de energía que el voltaje y la corriente positiva.

1.3.10. RESISTENCIA

El flujo de electrones necesita un material que permita por su medio un fácil desplazamiento de los electrones. La oposición que presenta un material al flujo de electrones es conocida como *resistencia*.

En algunos *aisladores*, como la cerámica y los plásticos, los electrones están fuertemente amarrados a sus átomos. Mientras el voltaje no sea muy alto –generalmente miles de voltios–, no se mueve ningún electrón. En todo *conductor*, el más mínimo voltaje mueve electrones, sin embargo, en aquellos materiales con una gran *resistencia*, se moverán muy pocos. En materiales con muy poca resistencia se moverán muchos electrones con muy poco voltaje.

La corriente o flujo de electrones libres en un circuito eléctrico encuentra *oposición a su movimiento* en todas las partes del circuito. Esta oposición es llamada *resistencia*, y puede compararse a la *fricción* entre una bola que rueda y las asperezas de la superficie sobre la cual lo hace. Al vencer esta resistencia la bola pierde velocidad (energía cinética, la cual es convertida en energía calorífica).

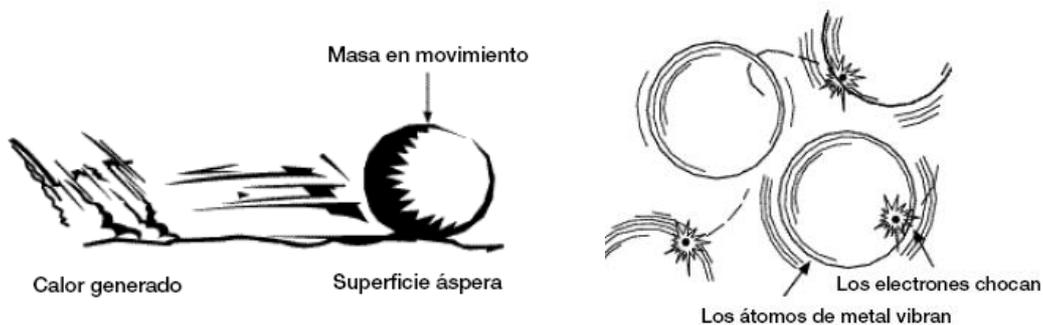


Fig.7 Resistencia al movimiento por fricción.

Fig.8. Choques entre electrones y átomos.

La fricción (resistencia al movimiento) de un objeto depende del tipo de superficie sobre la que se mueve. De manera parecida, los diferentes metales ofrecen distinta cantidad de oposición a la corriente de electrones.

Gran parte de la resistencia se debe a los *choques* entre electrones que fluyen y los átomos estacionarios. Los electrones pierden energía cinética (de movimiento) al fluir a través de una resistencia. Esta energía es convertida en calor. Las vibraciones mecánicas de los átomos de metal (originados por los choques entre electrones y átomos) son percibidas por nuestros sentidos como *calor*.

Siempre que el flujo de electrones encuentra resistencia, su energía cinética (de movimiento) se convierte en energía calorífica (calor).

Corriente o flujo de electrones a través de una resistencia = calor

A una gran cantidad de resistencia amontonada en un volumen relativamente pequeño se le llama *resistencia concentrada*. La resistencia concentrada de cualquier carga (foco, elemento calentador, motor, etcétera).

La resistencia de un conductor distribuida a todo lo largo del alambre se llama resistencia distribuida.



Fig.9 Símbolo esquemático para la resistencia.

1.3.11. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA

La cantidad de oposición o resistencia que encuentra la corriente de electrones dentro de un metal (u otro material) depende de los siguientes factores:

- **El tipo de metal.** Algunos metales tienen una bajísima resistencia interna debido al arreglo de sus átomos (y otros factores). Los cuatro metales con resistencia mínima entre todas las sustancias son plata, cobre, oro y aluminio. De los cuatro, la plata tiene menor resistencia, seguida por el cobre, luego el oro y después el aluminio.

- **La longitud del alambre.** La resistencia de un alambre de metal aumenta con su longitud. A mayor longitud de un alambre de metal habrá más colisiones entre átomos y electrones, con lo que se convierte en calor más energía de los electrones.

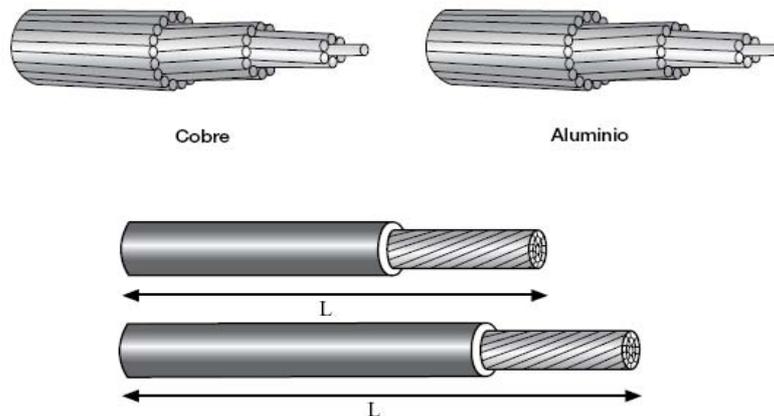


Fig.10. Representación de la resistencia respecto al material y longitud.

- **El área de sección transversal de un conductor.** A mayor amplitud en el camino de la corriente de electrones, más facilidad para su flujo a través del metal. A mayor área de la sección transversal del alambre, menor resistencia.

- **La temperatura del metal.** A una temperatura normal, la energía calorífica presente en todas las sustancias origina una suave vibración o agitación de sus átomos, sin que éstos pierdan su posición en el cristal de metal. Si se aumenta la temperatura, los átomos se agitan más y habrá mayor número de choques entre los electrones que fluyen y los átomos. La resistencia aumenta con la temperatura en los metales.

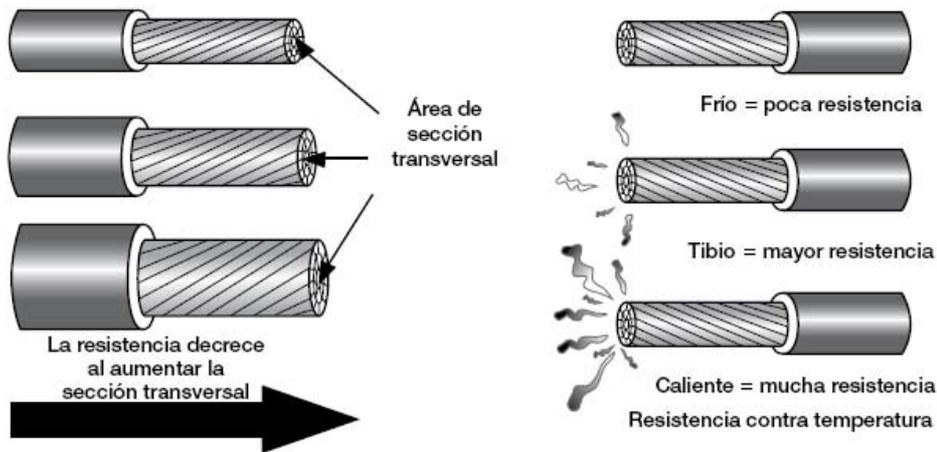


Fig.11 Representación de la resistencia respecto a la temperatura y a la sección transversal..

1.3.12. MEDIDA DE LA RESISTENCIA

La resistencia siempre causa una *pérdida de energía en los electrones* (que es convertida en calor). Asimismo, la energía transportada por los electrones depende de la FEM o voltaje que actúa sobre ellos. Considerando estas dos proposiciones, llegamos a una conclusión: si los electrones pierden energía al fluir en contra de una resistencia, entonces esta pérdida de energía implica *una pérdida de FEM o voltaje* debido a la resistencia. Los técnicos se refieren a esta pérdida de energía o voltaje como *caída de voltaje a través de una resistencia*. La pequeña pérdida de voltaje a lo largo de cada resistencia se suma para dar la pérdida total de voltaje a través de toda la resistencia.

La energía perdida y la pérdida de voltaje resultante son usadas para definir la unidad de resistencia: una unidad de resistencia es la cantidad de resistencia que causa una caída de voltaje de 1 voltio a una corriente de 1 amperio. La unidad de resistencia es el *ohm* u *ohmio*, llamado así para honrar a Georg S. Ohm, científico alemán del siglo XIX. El ohmio = unidad de

resistencia que causa una caída de voltaje de 1 voltio a una corriente constante de 1 amperio. El aparato para medir la resistencia es el *ohmetro* y se conecta en los extremos de la resistencia por medir.

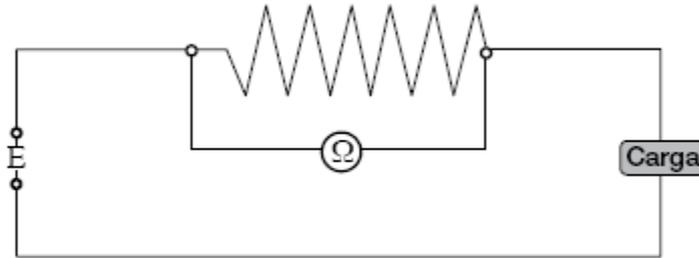


Fig.12. Medición de resistencia con Óhmetro.

1.3.13. RELACIÓN ENTRE VOLTAJE, CORRIENTE Y RESISTENCIA.

Al aplicar un voltaje a un circuito eléctrico cerrado, se produce una corriente de electrones a través de todas las partes del circuito. El voltaje aplicado da una fuerza (energía cinética) a los electrones libres, que es convertida en calor (energía calorífica) por la resistencia del circuito. La mayor parte de la conversión ocurre en la carga.

Durante mucho tiempo se sospechó de la existencia de una íntima relación entre el voltaje, la corriente de electrones y la resistencia de un circuito eléctrico. En el año de 1827 el profesor alemán de física Georg S. Ohm publicó una ecuación sencilla que explica la exacta relación entre voltaje, corriente y resistencia. Esta ecuación, conocida como la *Ley de Ohm*, se ha convertido en una poderosa herramienta que permite predecir lo que sucederá en un circuito eléctrico antes de construirlo.

Usando la Ley de Ohm, se puede conocer exactamente cuánta corriente de electrones fluirá a través de una resistencia, cuando se conoce el voltaje

aplicado. De hecho, las tres cantidades eléctricas (corriente, voltaje y resistencia) pueden determinarse usando la Ley de Ohm.

Relación entre corriente y voltaje aplicado. Para un valor fijo de resistencia, cuando se duplica el voltaje aplicado a un circuito, la corriente de electrones se duplica también (los electrones se mueven dos veces más aprisa).

Cualquier aumento en el voltaje o la FEM da por resultado un aumento proporcional en la corriente a través del circuito.

Cualquier disminución en el voltaje o la FEM da por resultado una disminución proporcional en el flujo de electrones a través del circuito.

Podemos expresar la relación entre voltaje aplicado y la corriente de electrones resultante en una proposición formal: **la corriente en un circuito de resistencia constante es directamente proporcional al voltaje aplicado.**

Esta relación puede expresarse gráficamente dibujando a I contra el valor de V , como se muestra en la figura siguiente:

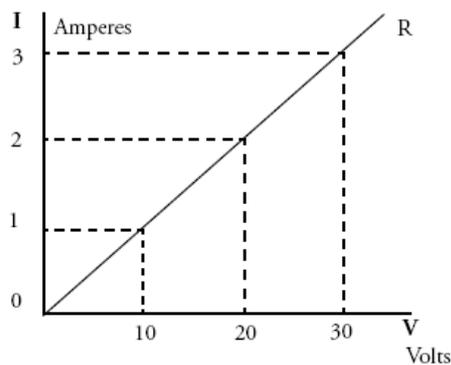


Fig.13. Ley de Ohm en forma gráfica

Relación entre corriente y resistencia del circuito. Para un valor fijo de voltaje, cuando se dobla la resistencia de un circuito, haciendo dos veces más difícil el paso de los electrones a través del circuito, la cantidad de corriente de electrones es reducida a la mitad de su valor (el voltaje aplicado no cambia).

Cualquier aumento en la resistencia del circuito causa una disminución proporcional en la cantidad de corriente de electrones a través del circuito.

Cualquier disminución del valor de la resistencia produce un aumento proporcional en la cantidad de corriente de electrones.

1.3.14. LEY DE OHM

La Ley de Ohm nos dice que: la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito.

La expresión escrita de esta ley puede representarse mediante la siguiente ecuación algebraica:

$$I = V/R$$

En donde:

I = intensidad del flujo de electrones, o corriente de electrones, medida en amperes [A].

V = voltaje (también conocido como E = tensión o FEM = fuerza electromotriz) en volts [V].

R = Es la resistencia del circuito, medida en Ohms [Ω].

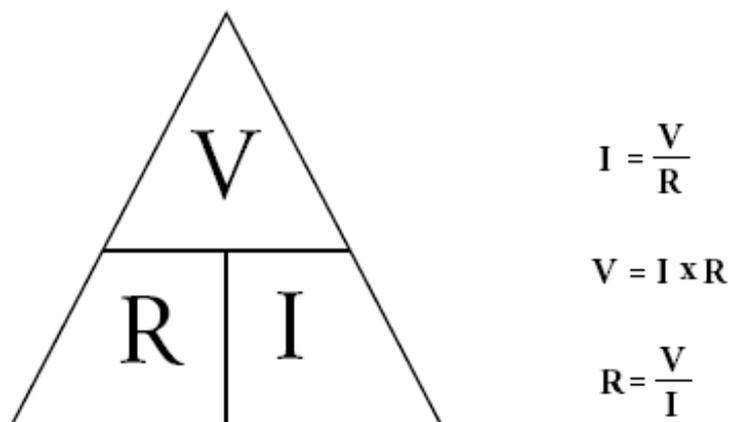


Fig.14. Triangulo de memoria (ley de Ohm).

1.3.15. POTENCIA, PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y ENERGÍA

Diferencia de potencial. La diferencia de potencial eléctrico de una carga entre dos puntos se define como el trabajo realizado por una fuerza externa para mover la carga de un punto a otro.

Analizando un sistema mecánico, cuando aplicamos una fuerza (F) a un objeto y éste se desplaza a una distancia (L), estaremos realizando un trabajo, el cual queda definido como:

$$\text{Fuerza x distancia} = \text{trabajo}$$

El trabajo en un sistema eléctrico lo estaremos realizando cuando se aplica un voltaje y se produce una *corriente* de electrones.

La gran utilidad de la energía eléctrica está en que puede ser transformada fácilmente en otro tipo de energía, como la mecánica o la térmica. La energía eléctrica es transformable debido a que la diferencia de potencial es lo suficientemente fuerte para provocar choques entre los electrones en movimiento y los átomos del conductor.

Potencia: La *potencia* o energía eléctrica es la rapidez o velocidad con que la energía eléctrica asume otra forma. En un sistema mecánico, la potencia es la rapidez con la que se realiza un trabajo, es decir, la cantidad de trabajo que puede hacerse en una cantidad específica de tiempo.

En un molino de agua, entre más agua fluye, mayor será la velocidad de las vueltas del molino; o entre mayor sea el impulso rotativo ejercitado por su eje (energía cinética), mayor será el trabajo que realiza en un tiempo determinado. Igualmente, mientras mayor sea la potencia o energía eléctrica que va a un motor, mayor será el trabajo que el motor realice en un determinado tiempo.

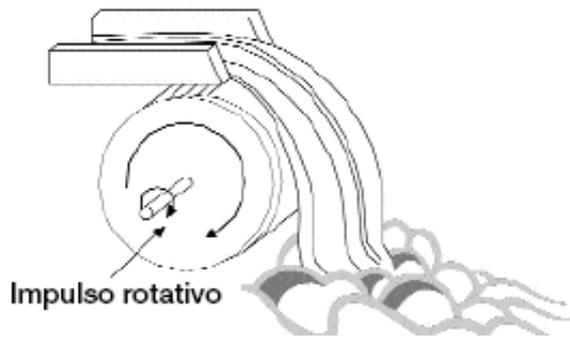


Fig.15 Molino de Agua

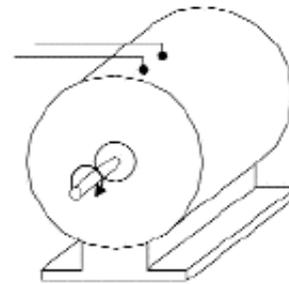


Fig.16. Motor eléctrico

La *potencia eléctrica*, o sea, el porcentaje en el cual la energía eléctrica se convierte en otra forma de energía, simplemente es la corriente multiplicada por el voltaje.

La unidad de medida de la potencia eléctrica es el *watt* (W), en honor a James Watt.

Un voltaje de 1 volt, al empujar una corriente de 1 ampere, produce 1 watt de potencia.

Potencia = corriente x voltaje

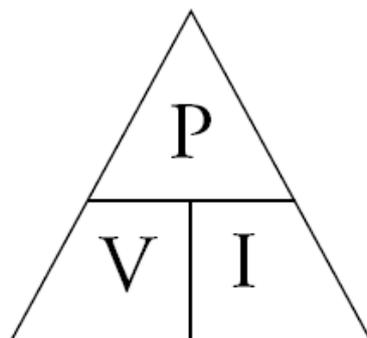
$$P = I \times V$$

En donde:

P = Potencia en watts [W]

I = Corriente eléctrica en amperes [A]

V = Voltaje o tensión en volts [V]



$$P = I \times V$$

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

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

Fig.17 Triangulo de memoria (Ley de Watt).

Caballos de potencia (HP). El trabajo mecánico que realiza un motor se mide en términos de caballos de potencia. Un caballo de potencia se define como 550 libras aplicadas durante una distancia de un pie en un segundo. En otras palabras, se necesita 1 HP para levantar 550 lb a la distancia de un pie en un segundo. En el sistema métrico, 1 HP es una fuerza de 746 newtons, aplicados a lo largo de un metro durante un segundo.

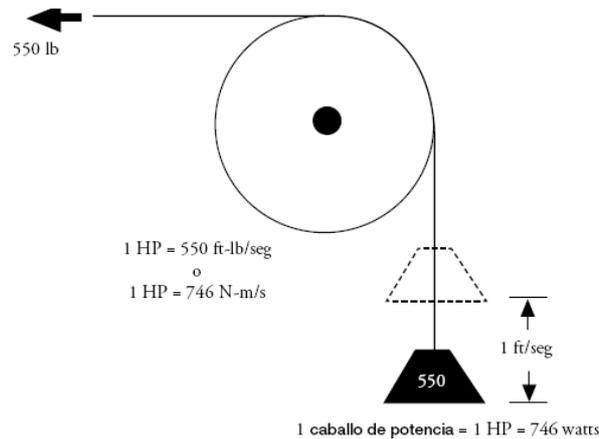


Fig.18 Caballos de potencia en forma grafica.

1.3.16. PÉRDIDAS DE ENERGÍA

Cuando existe oposición o resistencia al movimiento, parte de la energía cinética de este movimiento se transforma en energía calorífica (calor) sin poder recuperarse; de igual manera ocurre en el movimiento de los electrones ante la resistencia: parte de la energía eléctrica se convierte en calor. El calor es producido por la fricción de los electrones libres en movimiento y los átomos que obstruyen el paso de los electrones.

Las pérdidas de energía por el calor generado en la conducción se describen por medio del efecto joule.

Las pérdidas de energía generalmente se calculan por medio de la fórmula de la Ley de Joule:

$$P = I^2 \times R$$

En donde:

P = potencia en watts [W]

I = corriente eléctrica en amperes [A]

R = resistencia eléctrica en ohms [Ω]

El calor generado es una clara evidencia de que la potencia se usa para producir la corriente eléctrica.

De la Ley de Ohm, conocemos que:

$$I = V / R$$

Esta expresión la podemos sustituir en la fórmula anterior, de modo que:

$$P = V^2 / R$$

1.3.17. RELACIÓN ENTRE VOLTAJE, CORRIENTE, RESISTENCIA Y POTENCIA

Si se conocen dos de los parámetros eléctricos básicos (voltaje, corriente, resistencia y potencia) es posible calcular los otros dos. El siguiente diagrama resume las relaciones.

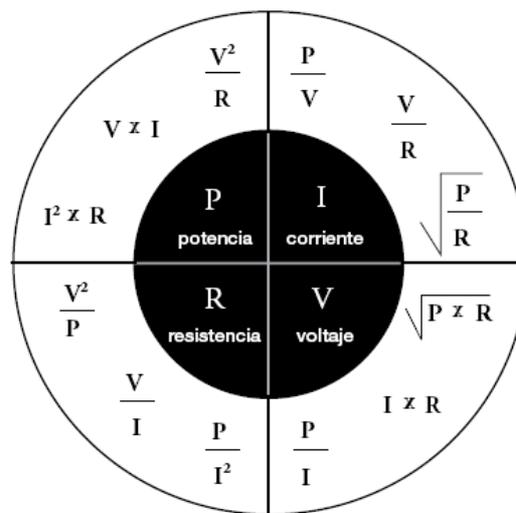


Fig.19 Diagrama de relaciones entre voltaje, corriente, resistencia y potencia.

En donde:

R = resistencia en ohms

I = corriente en amperes

V = voltaje o tensión en volts

P = potencia en watts

1.3.18. ENERGÍA

La energía es un trabajo eléctrico, es decir, la potencia consumida en un lapso determinado.

La energía producida o utilizada por cualquier sistema se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$W = P \times t$$

En donde:

W = energía en watts-s [W-s]

P = potencia en watts [W]

t = tiempo en segundos [s]

El watt es una cantidad demasiado pequeña para fines prácticos (Sistema de Potencia), por lo que se emplea el watt-hora o kilowatt-hora. El aparato que utilizamos para medir la energía consumida es llamado *watthorímetro*.

1.3.19. CIRCUITO ELÉCTRICO

Podemos comparar la corriente eléctrica con la corriente de agua. Basándonos en un concepto tan familiar para todos. Tomando en cuenta esto, a continuación se describen algunas similitudes entre las corrientes de agua y las corrientes eléctricas:

- El agua usualmente se transmite de un lugar a otro a través de tubos o mangueras. Los tubos o las mangueras tienen un orificio por donde se transporta el agua. La cantidad de agua transmitida está relacionada con el área transversal del orificio: a mayor área, mayor flujo de agua. La pared del tubo o de la manguera tiene la función de evitar que el agua se salga del orificio de tubo. El espesor de la pared esta relacionado con la presión que soporta el tubo: a mayor espesor de la pared, el tubo soporta mayor presión. Las unidades que se emplean para medir la corriente de agua son volumen entre tiempo [litros por segundo (l/s)].

- La corriente eléctrica (movimiento de cargas eléctricas) se transmite de un lugar a otro a través de cables eléctricos. Los cables eléctricos tienen un conductor metálico (generalmente de cobre o de aluminio), que es el que transporta la corriente eléctrica.

La cantidad de corriente transmitida esta relacionada con el área transversal del metal conductor: a mayor área, mayor corriente electica transmitida. El aislamiento del cable tiene la función de evitar que la corriente eléctrica se salga del conductor metálico.

El espesor del aislamiento está relacionado con la tensión eléctrica que soporta el cable: a mayor es pesor del aislamiento, el cable soporta mayor tensión eléctrica. Las unidades que se emplean para medir la corriente eléctrica son carga eléctrica entre tiempo [Coulombs por segundo (C/s), a lo que se le llama ampere].

Para que el agua se transmita de un lugar a otro, se requiere que exista una diferencia de presión entre los dos lugares y que estén unidos mediante un tubo o manguera. Las unidades que se emplean para medir la presión son fuerza entre área [Newtons por metro cuadrado (N/m^2), a lo que se le llama pascal].

Para que la corriente eléctrica se transmita de un lugar a otro, se requiere que exista una diferencia de tensión o voltaje entre los dos lugares y que estén unidos mediante un cable. Las unidades que se emplean para medir la tensión eléctrica son los volts.

Tomando en cuenta de las similitudes anteriores, podemos hacer una comparación entre un circuito cerrado de agua y un circuito eléctrico.

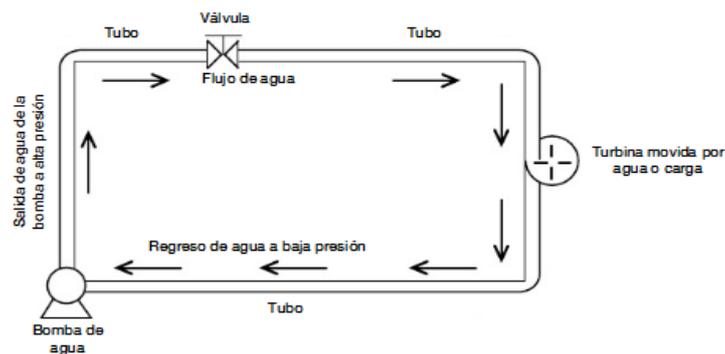


Fig.20. circuito de agua.

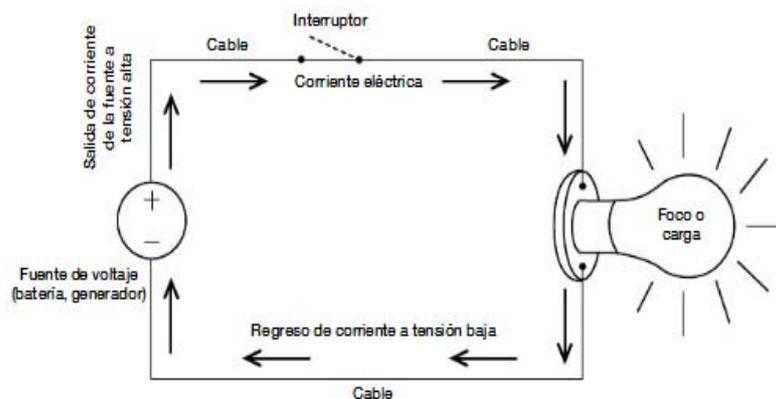


Fig. 21. Circuito eléctrico.

De las figuras se puede apreciar las siguientes semejanzas:

- En el circuito de agua, la presión del agua es elevada por medio de una bomba.
- En el circuito eléctrico, el voltaje es elevado por la fuente.
- En el circuito de agua, ésta es transmitida por medio de tubos.
- En el circuito eléctrico, la corriente es transmitida por medio de cables.
- En el circuito de agua, la presión es usada para mover una turbina.
- En el circuito eléctrico, el voltaje es usado para alimentar una carga, por ejemplo para encender un foco o para mover un motor.
- En el circuito de agua, ésta pierde presión después de pasar por la carga.
- En el circuito eléctrico, la corriente pierde tensión después de pasar por la carga.
- En el circuito de agua, ésta también pierde presión al pasar por los tubos. La pérdida de presión en el tubo depende del área transversal del orificio y de la longitud del tubo: a menor área transversal del orificio del tubo, mayor pérdida o caída de presión.
- En el circuito eléctrico, la corriente también pierde tensión al pasar por los cables. La pérdida de tensión en el cable depende del área transversal del conductor metálico y de la longitud del cable, mayor pérdida o caída de tensión.
- Para interrumpir el flujo, en el circuito de agua se emplea una válvula.
- Para interrumpir la corriente, en el circuito eléctrico se emplea un interruptor

En la figura del circuito eléctrico se presentan algunas de sus principales partes que son:

- La fuente generadora de tensión o electricidad. Ésta puede ser un generador, una batería, la salida de un transformador o la alimentación de la compañía suministradora de electricidad, como la Comisión Federal de Electricidad
- El medio de transmisión de electricidad, que son los cables.
- La carga, que es donde se utiliza la electricidad; puede ser un motor, un foco, una lavadora, una televisión, una computadora etcétera.
- El medio de desconexión de la electricidad, que se conoce como interruptor.

1.3.20. LEYES DE KIRCHOFF, DE CONSERVACION DE LA CORRIENTE Y TENSION EN CIRCUITOS

1.3.20.1. PRIMERA LEY O LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA CORRIENTE

En cualquier punto de un circuito, la suma de las corrientes que llegan al punto es igual a la suma de las corrientes que salen del punto.

Un punto en el circuito también es conocido como *nodo*, y puede ser donde se unen dos o mas cables, pero puede ser también un punto cualquiera en un cable. En un circuito eléctrico, también la corriente que entra a una carga es igual a la que sale de ella.

En la figura se muestra el significado de esta ley:

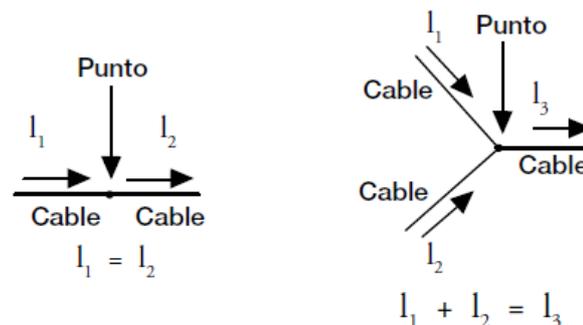


Fig.22. Ejemplos de la ley de conservación de la corriente.

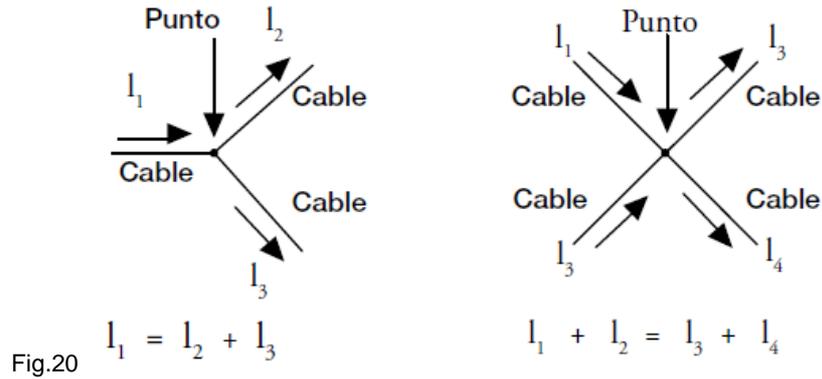


Fig.23. Corrientes eléctricas que entran o salen de un punto en un circuito.

1.3.20.2. SEGUNDA LEY O LEY DE CONSERVACIÓN DE LA TENSIÓN

En cualquier circuito cerrado, la suma de las tensiones eléctricas de los elementos pasivos de un circuito, como son los conductores y las cargas, es igual a la tensión eléctrica del elemento activo o fuente.

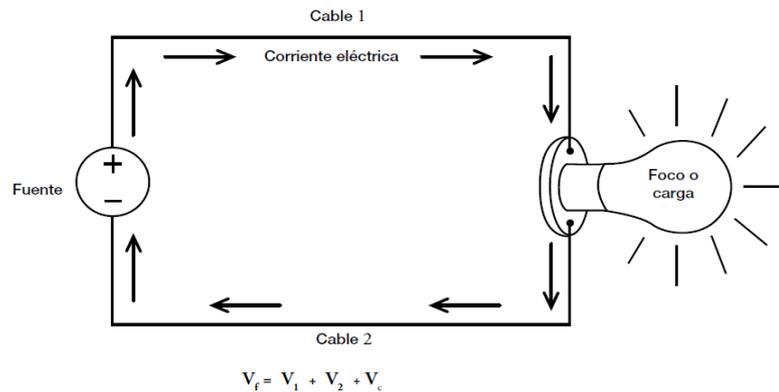


Fig.24. Ley de conservación de la tensión.

Donde:

V_f = Tensión de la fuente

V_1 = Tensión de cable 1

V_c = Tensión de la carga o foco

V_2 = Tensión del cable 2

En corriente directa, la tensión de un cable o una carga está dada por la Ley de Ohm, que se explicó con anterioridad y la cual se expresa en la siguiente fórmula:

$$V = RI$$

Donde:

V = Tensión del cable o carga en volts [V]

R = Resistencia eléctrica del cable o carga en ohms [Ω]

I = Corriente eléctrica que pasa por el cable o carga en amperes [A]

En corriente alterna se emplea una fórmula muy parecida a la anterior para la tensión de un cable o carga, reemplazando la resistencia R por la impedancia Z:

$$V = ZI$$

Donde:

V = Tensión del cable o carga en volts

Z = Impedancia eléctrica del cable o carga en ohms

Para el caso de los cables, está dada por la siguiente fórmula:

Donde:

R = Resistencia eléctrica del cable a la corriente alterna en ohms

XL = Reactancia inductiva del cable en ohms

1.3.21. CIRCUITOS EN SERIE

Se le llama circuito en serie a un circuito eléctrico como el de la figura, en el cual la corriente que pasa por todas las resistencias es la misma, debido a la Primera Ley de Kirchoff. En esta figura las resistencias R1 y R3 pueden

representar a los cables que conectan una carga, por ejemplo un foco y la carga sería la resistencia R2.

1.3.22. CIRCUITOS EN PARALELO

Se le llama circuito en paralelo a un circuito como el de la figura en el cual la tensión de cada resistencia es la misma, debido a la Segunda Ley de Kirchoff. En esta figura las resistencias R1, R2 y R3 pueden representar cargas si se desprecia la resistencia de los cables de conexión, por ejemplo unos aparatos eléctricos conectados a contactos o receptáculos, los cuales se conectan en paralelo.

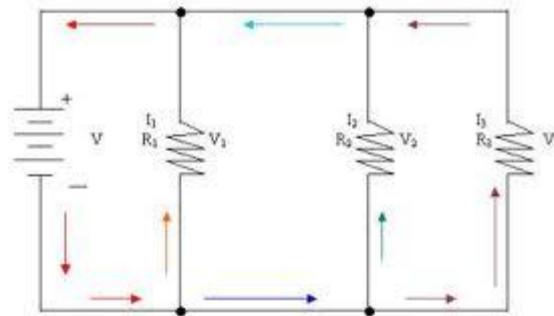


Fig.25. Circuito con resistencias en paralelo.

1.3.23. EQUIVALENTES DE RESISTENCIAS EN SERIE Y EN PARALELO

Cuando existen varias resistencias en serie o en paralelo es posible sustituirlas por una sola resistencia equivalente, para simplificar el circuito y facilitar los cálculos.

El valor de la resistencia equivalente se obtiene en las dos formulas siguientes, dependiendo de si las resistencias están en serie o en paralelo.

- Fórmula para la Resistencia equivalente de resistencias en serie:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Donde:

R1, R2, R3, Rn = Resistencias que están en serie en ohm.

R_{eq} = Resistencia equivalente a las resistencias en serie en ohm.

- Fórmula para la Resistencia equivalente de resistencias en paralelo:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Donde:

R_1, R_2, R_3, R_n = Resistencias que están en paralelo en ohm.

R_{eq} = Resistencia equivalente a las resistencias en paralelo en ohm.

Su uso es para la simplificación de cálculos en circuitos más complejos.

1.3.24. CIRCUITOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS

En corriente alterna los circuitos pueden ser de una o más fases. Cuando son de una fase se les llama monofásicos y cuando son de tres fases se les llama trifásicos. Se reemplazaron los signos positivo y negativo de la fuente por el signo de onda senoidal, ya que en corriente alterna la polaridad cambia de positivo a negativo constantemente.

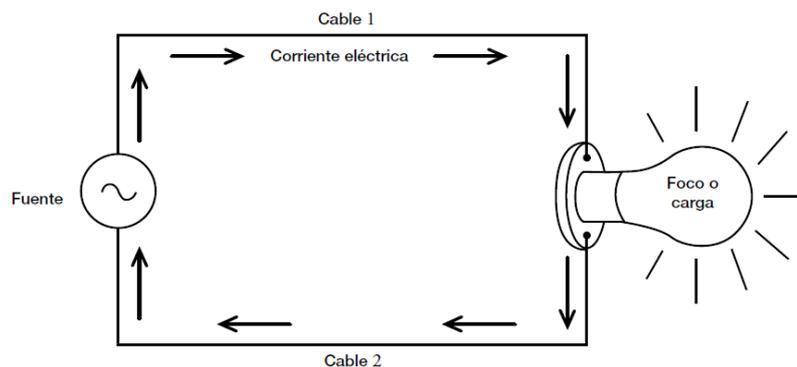


Fig.26. Circuito monofásico de corriente alterna.

En la siguiente figura se muestra como varia con el tiempo el voltaje o la corriente senoidal en el circuito monofásico.

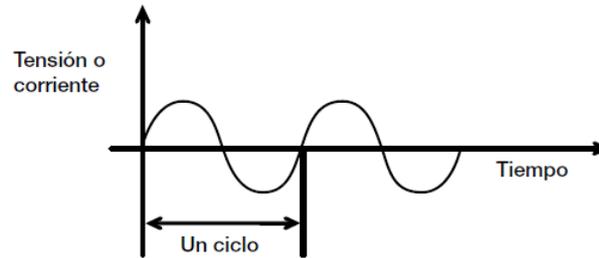
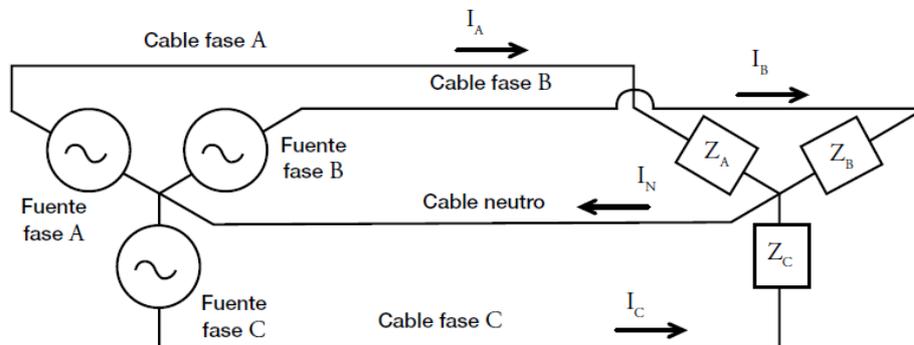


Fig.27 Voltaje o Corriente en un circuito Monofásico.

Existen dos tipos de circuitos trifásicos: con conexión en estrella, o conexión en delta. Para diferenciar a los cables de los circuitos trifásicos, se les da el nombre de fase A, fase B y fase C. Los voltajes de cada fuente son de la misma magnitud y están desfasados.



Z_A, Z_B y Z_C = Cargas de las fases A, B y C

I_A, I_B, I_C = Corrientes de los cables de las fases A, B y C

I_N = Corriente del cable del neutro

Fig.28. Circuito Trifásico de corriente alterna con conexión estrella.

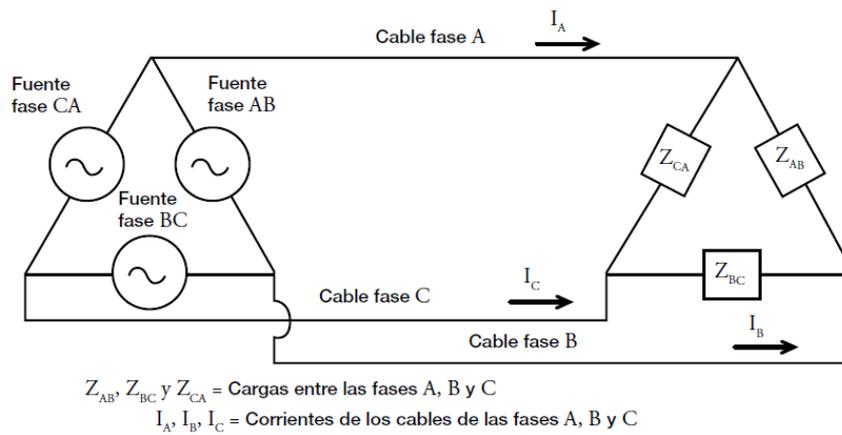


Fig.29. Circuito trifásico de corriente alterna con conexión en delta.

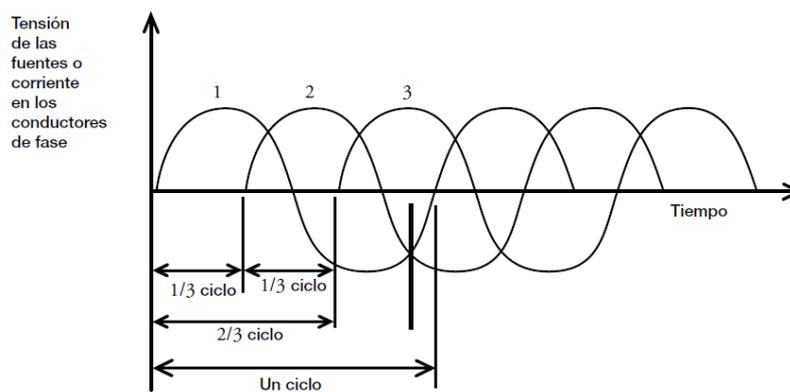


Fig.30. Voltajes o corrientes en un sistema trifásico balanceado.

El significado de las curvas de la figura anterior es:

- Curva 1:
 - Circuitos con conexión en estrella: voltaje de la fuente de la fase A.
 - Circuitos con conexión en delta: voltaje de la fuente de la fase AB.
- Curva 2:
 - Circuitos con conexión en estrella: voltaje de la fuente de la fase B.

- Circuitos con conexión en delta: voltaje de la fuente de la fase BC.
- Curva 3:
 - Circuitos con conexión en estrella: voltaje de la fuente de la fase C.
 - Circuitos con conexión en delta: voltaje de la fuente de la fase CA.

Para circuitos con conexión en estrella, si el circuito esta balanceado, la corriente que circula por el neutro es cero; en caso contrario, la corriente que circula por el neutro depende del desbalanceo, es decir, de la diferencia que exista en las cargas de las fases A, B y C.

En la figura siguiente se muestra la relación que existe entre la magnitud de los voltajes entre los conductores de fase o voltaje de fase a fase, y la magnitud de los voltajes entre los conductores de fase y el neutro, llamado *voltaje de fase a neutro*, para los circuitos con conexión en estrella. Por ejemplo, a las casas llegan dos conductores de la compañía suministradora: uno es una fase y el otro es el neutro de un sistema con conexión en estrella. El voltaje en las casas es de 127 V y es un voltaje de fase a neutro.

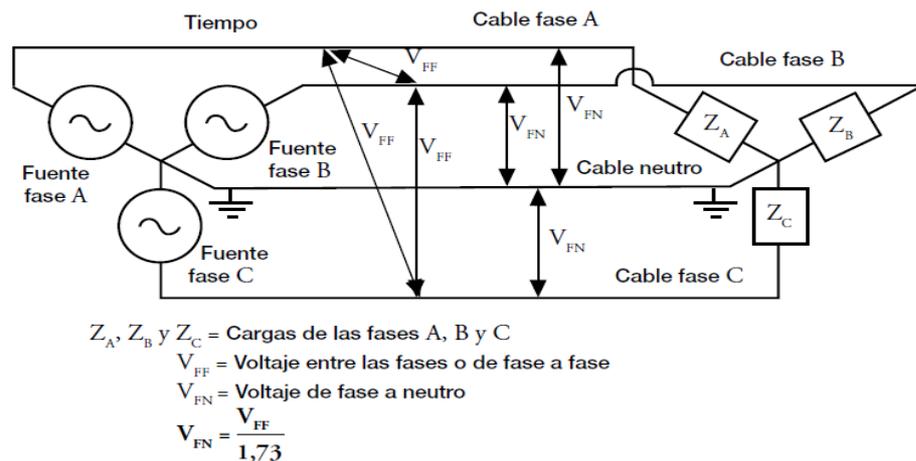


Fig.31. Relación entre voltajes en un circuito trifásico con conexión en estrella

1.3.25. RELACIÓN ENTRE VOLTAJES EN UN CIRCUITO TRIFÁSICO CON CONEXIÓN EN ESTRELLA

En un circuito trifásico se considera que las tres fuentes son una sola y ésta puede ser, por ejemplo, un generador trifásico o un transformador trifásico. En estos circuitos puede haber cargas trifásicas –por ejemplo motores que estén conectados a los tres cables de fase– en lugar de cargas independientes conectadas entre cada conductor de fase y el neutro, en sistemas en estrella; o entre las fases, en sistemas en delta.

1.3.26. SOBRECORRIENTES

En los circuitos eléctricos pueden presentarse sobrecorrientes, es decir, corrientes mayores a las que soportan los equipos y cables, las cuales dañan a dichos equipos y cables porque producen un sobrecalentamiento debido al efecto Joule, que se mencionó anteriormente y que está descrito por la siguiente fórmula:

$$Q = I^2R$$

Donde:

Q = Pérdida de energía en forma de calor en el equipo o cable en watts

I = Corriente que pasa por el equipo o cable en amperes

R = Resistencia eléctrica del equipo o del cable en ohms

Existen dispositivos que protegen a los equipos y a los circuitos contra sobrecorrientes, para evitar que se sobrecalienten y sus elementos se dañen.

Las sobrecorrientes son producidas por tres causas: sobrecargas, cortocircuitos y fallas a tierra.

1.3.27. SOBRECARGAS

Son corrientes generalmente continuas, producidas por operar equipos o circuitos a valores más altos que su capacidad máxima de corriente. Un ejemplo de esto es conectar muchos equipos, como planchas, lámparas, televisiones, etcétera, a una toma de corriente o receptáculo, excediendo la capacidad de conducción de corriente del circuito.

1.3.28. CORTOCIRCUITOS

Es un contacto producido entre dos o más conductores de un circuito, provocado por una falla del aislamiento que existe entre ellos. Como su nombre lo indica, la corriente sigue un camino más corto, es decir, se crea un circuito de mucha menor resistencia, lo que produce que la corriente se eleve a valores muy altos, debido a la Ley de Ohm:

Donde:

I = Corriente que circula por el circuito en amperes

V = Tensión que proporciona la fuente al circuito en volts

R = Resistencia del circuito corto en ohms

1.3.29. FALLAS A TIERRA

Son contactos que se producen entre un conductor en tensión eléctrica o vivo y una parte metálica de un equipo o de cualquier objeto, la cual no está diseñada para conducir corriente en condiciones normales. El contacto es provocado por una falla del aislamiento que existe entre la parte metálica y el conductor con tensión.

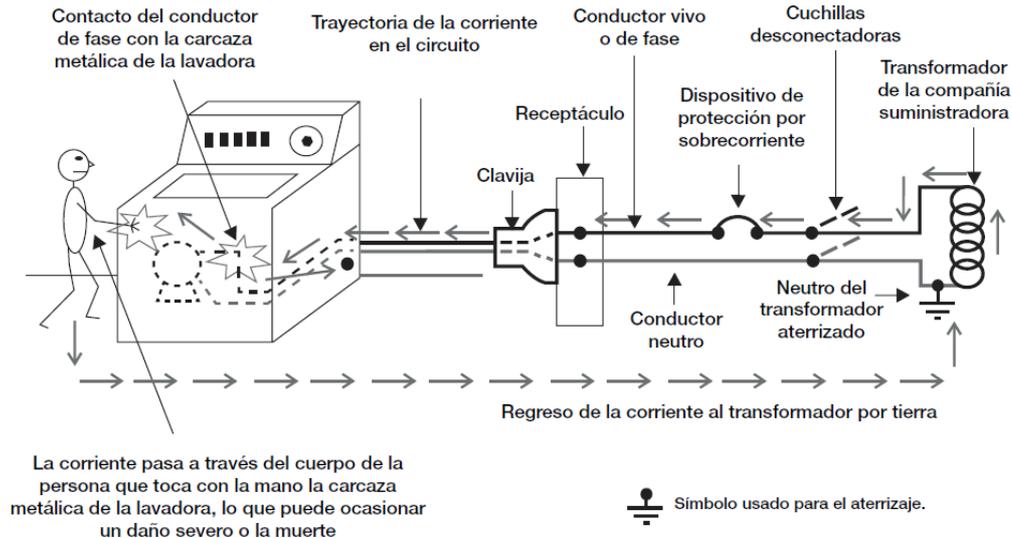


Fig.32 Peligro de una falla a tierra, en un sistema no aterrizado correctamente.

Para evitar que la corriente pase a través del cuerpo de una persona cuando se produce una falla a tierra, se aterrizan las partes metálicas o conductoras de electricidad de los equipos – o de cualquier objeto– que no están diseñadas para conducir corriente en condiciones normales y que tienen riesgo de entrar en contacto con conductores vivos o de fase.

Aterrizar significa conectar eléctricamente, por medio del conductor de tierra, a la tierra física. Esta conexión a la tierra física se lleva a cabo a través de un electrodo enterrado en ella, el cual es llamado *electrodo de puesta a tierra*.

El aterrizaje o conexión a tierra también se lleva a cabo para evitar que se presenten tensiones peligrosas en las partes metálicas o conductoras de equipos –o de cualquier objeto– que no están diseñadas para conducir corriente en condiciones normales, ya que estas tensiones pueden presentarse no solo por el contacto de conductores vivos con las partes metálicas o conductoras, sino también por otras causas, como puede ser la inducción eléctrica.

Una persona puede entrar en contacto eléctrico con conductores vivos, por ruptura de la conexión a tierra de las partes metálicas o conductoras de equipos, o por alguna otra causa. Esto puede ser peligroso, sobre todo en

lugares mojados o húmedos, como son los baños, las cocheras, cerca del fregadero de las cocinas, los jardines, el cuarto de la lavadora, los sótanos sin terminar, etc. En estos casos, los dispositivos de protección contra sobrecorriente no desconectan el circuito, aun en sistemas aterrizados, ya que las resistencias del cuerpo humano y la de la tierra limitan la corriente a valores menores que a los que opera el dispositivo.

Para proteger a las personas contra el contacto con conductores vivos, se emplean dispositivos conocidos como interruptores con protección de falla a tierra. La finalidad de estos interruptores es evitar que pase una corriente peligrosa a través del cuerpo humano (un choque eléctrico comienza a producirse entre los 10 y los 30 miliamperes). Estos interruptores operan midiendo la diferencia que existe entre la corriente del conductor vivo o de fase y la corriente del conductor neutro. Esta diferencia es la corriente que regresa por tierra y que puede circular por el cuerpo humano. Cuando la corriente que regresa por tierra es mayor a un valor predeterminado, que en la mayoría de los casos es de 5 miliamperes, los interruptores con protección de falla a tierra desconectan el circuito, en un tiempo menor a 60 milisegundos

1.3.29.1 CIRCUITOS ALIMENTADORES Y DERIVADOS

- Alimentador: Todos los conductores de un circuito formado entre el equipo de acometida o la fuente de un sistema derivado separado y el dispositivo final de protección contra sobrecorriente del circuito derivado.
- Circuito derivado: Conductores de un circuito desde el dispositivo final de sobrecorriente que protege a ese circuito hasta la(s) salida(s) finales de utilización.

Para entender mejor el significado de las definiciones anteriores, se presenta un diagrama que muestra los circuitos alimentadores y derivados, así como las siguientes definiciones proporcionadas por la NOM-001-SEDE-2005:

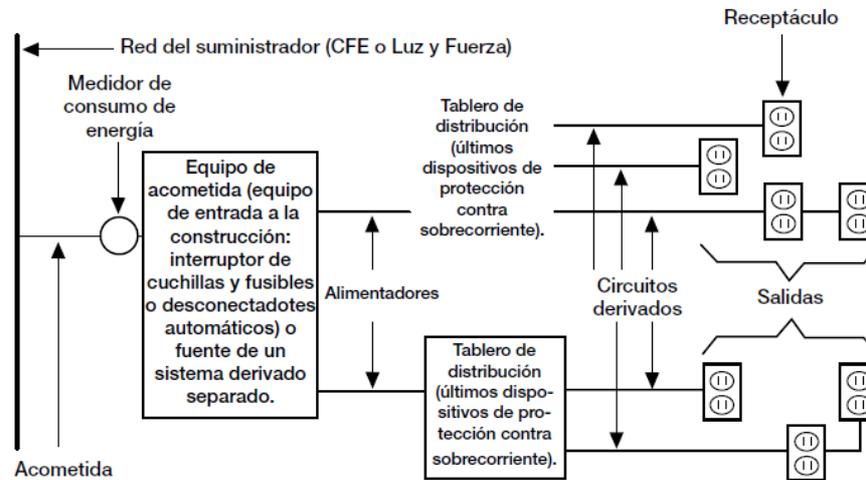


Fig.33. Circuitos alimentadores y derivados.

- **Equipo de acometida:** Equipo necesario para servir de control principal y que usualmente consiste en un interruptor automático o desconectador y fusibles, con sus accesorios, localizado cerca del punto de entrada de los conductores de suministro a un edificio u otra estructura o a un área definida.
- **Acometida:** Conductores de acometida que conectan la red del suministrador (Comisión Federal de Electricidad) al alambrado del inmueble a servir.
- **Conductores de acometida:** Conductores comprendidos desde el punto de acometida hasta el medio de desconexión de la acometida.
- **Medio de desconexión:** Dispositivo o conjunto de dispositivos u otros medios a través de los cuales los conductores de un circuito pueden ser desconectados de su fuente de alimentación.
- **Sistema derivado separado:** Sistema de alambrado de una propiedad cuya energía procede de una batería, sistema fotoeléctrico solar o de

un generador, transformador o devanados de un convertidor y que no tiene conexión eléctrica directa incluyendo al conductor del circuito sólidamente puesto a tierra (que normalmente es el cable o conductor neutro en sistemas con conexión en estrella), con los conductores de suministro que provengan de otro sistema.

- **Dispositivo:** Elemento en un sistema eléctrico destinado a conducir, pero no a consumir, energía eléctrica.
- **Salida:** Punto en un sistema de alambrado en donde se toma corriente eléctrica para alimentar al equipo de utilización.
- **Equipo de utilización:** Equipo que transforma, con cierta eficiencia, la energía eléctrica en energía mecánica, química, calorífica, luminosa u otras.

1.3.30. RED ELÉCTRICA

La red eléctrica es un conjunto de líneas, transformadores e infraestructura que están encargados de llevar la energía eléctrica desde los centros de producción hasta los consumidores. Las redes son las que se ocupan de transportar y distribuir la electricidad generada en las centrales (las nucleares, de carbón, hidráulicas, de ciclo combinado o renovables) hasta los puntos de consumo final. Las redes actuales están diseñadas y en funcionamiento desde la mitad del siglo pasado y por ello se requiere que sean rediseñadas para que puedan reconvertirse en redes más efectivas y robustas para que puedan soportar las necesidades tanto actuales como futuras de los consumidores

En la transmisión como en la distribución es donde ocurre una gran pérdida de energía. La transmisión consiste en la transportación de la energía eléctrica a muy alta tensión (para poder reducir las pérdidas) los niveles de tensión en México son 161, 230 y 400kV (datos de CFE). Por otra parte la

distribución se encarga de transportar la energía desde las redes de transporte (con un nivel de tensión de 138 kV hacia abajo) hasta los puntos de consumo, donde se encuentran valores de tensión dentro de la baja tensión (tensiones que no superan los 1000V) esta operación se realiza en los centros de transformación. Entre la instalación final del usuario y los centros de transformación existe una infraestructura, denominada red de enlace, y que permite la interconexión y la protección de las instalaciones.

Todas estas transformaciones están soportadas por diferentes elementos (transformadores, protecciones, seccionadores, elementos de control y mando, equipos de medida, etc.), estos elementos al igual que el resto de la infraestructura deben soportar las necesidades futuras.

CAPITULO II

MEDICION DE

ENERGIA

ELECTRICA

CAPITULO II

MEDICION DE ENERGIA ELECTRICA.

2.1. GALVANÓMETRO

El galvanómetro es una herramienta la cual nos permite detectar y medir la corriente eléctrica haciendo pasar corriente eléctrica a través de un conductor el cual se encuentra enrollado, formando una bobina y esto hace que se produzca una deformación en la rotación de una aguja o puntero que es con el cual se toma la medición.

Su principio de operación (bobina móvil e imán fijo) se conoce como mecanismo de D'Arsonval, en honor al científico que lo desarrolló. Este 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 μA , pero el instrumento resulta extremadamente frágil.

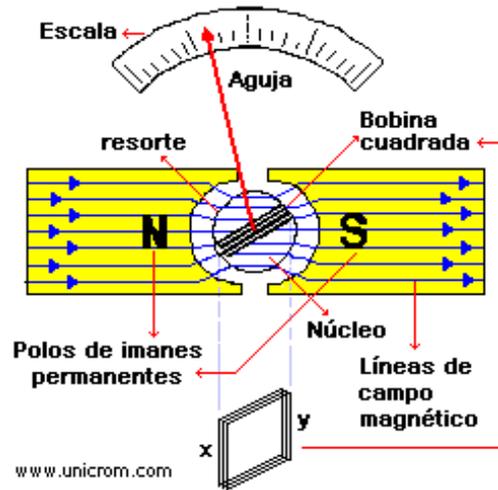


Fig.34 Partes del galvanómetro

2.1.1. PRINCIPIO DEL GALVANÓMETRO

El origen de los galvanómetros fueron descritos por Johann Schweigger y el físico francés André-Marie Ampere fueron los que contribuyeron a su desarrollo. Los primeros diseños lo que hacían básicamente era el aumento de el efecto del campo magnético esto por la corriente que circulaba por un embobinado (corriente que circula por múltiples vueltas de alambre) estos primeros instrumentos fueron conocidos como multiplicadores. El nombre de galvanómetro se hizo de uso común a partir del año de 1836 cuando el investigador italiano, Lugini Galvani descubrió que la corriente eléctrica podía hacer mover la pata de una rana.

El principio de los galvanómetros se utilizaba el campo magnético terrestre ya que con este mismo se restablecía la brújula para poder hacer mediciones. Después se le hicieron mejoras como acondicionarle unos imanes para no depender del campo magnético terrestre. La forma más sensible, el galvanómetro de Thompson o de espejo, fue inventado por William Thompson (Lord Kelvin). En lugar de tener una aguja, utilizaba diminutos imanes unidos a un pequeño espejo ligero, suspendido por un hilo. Se basaba en la desviación de un haz de luz muy magnificado debido, a corrientes pequeñas. Alternativamente, la deflexión de los imanes suspendidos se podía observar directamente a través de un microscopio.

Gracias a este instrumento permitió a George Ohm formular lo que se conoce como ley de Ohm ya que el galvanómetro era capaz de tomar mediciones tanto del voltaje y la corriente por lo cual Ohm estableció que el voltaje a través de un conductor es inversamente proporcional a la corriente que pasa a través de él.

El primer galvanómetro de imán móvil tenía la desventaja de ser afectado por cualquier imán u objeto de hierro colocado en su cercanía, y la desviación de su aguja no era proporcionalmente lineal a la corriente. En 1882, Jacques-Arsène d'Arsonval desarrolló un dispositivo con un imán estático permanente y una bobina de alambre en movimiento, suspendida por resortes en espiral. El campo magnético concentrado y la delicada suspensión hacían de éste un instrumento sensible que podía ser montado en cualquier posición. En 1888, Edward Weston desarrolló una forma comercial de este instrumento, que se convirtió en un componente estándar en los equipos eléctricos.

2.2. ELECTRODINAMÓMETRO

El electrodinamómetro es un derivado del galvanómetro ya que el galvanómetro no puede medir corrientes alternas ya que si lo hiciera tendría una inclinación hacia las 2 direcciones por la forma de onda que maneja la corriente alterna y el electrodinamómetro sirve para poder tomar mediciones tanto de corriente continua y corriente alterna.

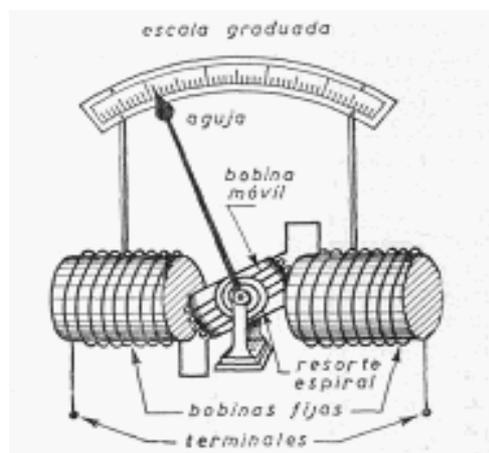


Fig.35 Partes del electrodinamómetro.

2.2.1. FUNCIONAMIENTO DEL ELECTRODINAMÓMETRO

El principio que utiliza el electrodinamómetro es semejante al Galvanómetro ya que el electrodinamómetro consiste en una bobina fija al igual que el galvanómetro y en lugar de usar un imán utiliza una bobina móvil y esto se debe a que la corriente que circula por las bobinas tanto la fija como la móvil las cuales se invierten en el mismo momento, y la inclinación que tiene la bobina móvil es al mismo sentido esto hace que se pueda tener una medición constante de la intensidad.

Este tipo de aplicaciones son utilizadas en voltímetros y amperímetros de CA muy exactos no solo para mediciones de alta frecuencia en línea sino también para señales que se encuentren en rangos bajos de audio frecuencia. El movimiento de la aguja es logrado por las fuerzas magnéticas de las bobinas que conducen corriente.

2.3 VOLTÍMETRO

El voltímetro aparto el cual se encarga de medir la diferencia de potencial entre 2 puntos. Para poder efectuar esta medida se coloca en paralelo entre los 2 puntos donde la diferencia de potencial se desea conocer. La diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera en el circuito puede medirse uniendo simplemente las terminales del voltímetro entre estos puntos sin romper el circuito. La mayoría de los dispositivos de medición pueden medir o leer voltaje. Dos mediciones de voltaje comunes, son la corriente directa (CD) y la corriente alterna (CA).

Un voltímetro ideal es aquel que tiene resistencia infinita de manera que no circula corriente a través de él. Esta condición requiere que el voltímetro tenga una resistencia que es muy grande.

Existen algunos voltímetros de bobina móvil. La mayoría de este tipo de voltímetros no mide la diferencia de potencial como tal, sino que toman una pequeña corriente de operación proporcional a aquélla; pueden considerarse por tanto como miliamperímetros de alta resistencia, calibrados en voltios.

En un instrumento de bobina móvil, no es posible hacer la resistencia de la bobina suficientemente grande, por lo que se conecta en serie con la bobina un resistor de una aleación de alta resistencia, con un despreciable coeficiente de temperatura; a esta resistencia se le llama a veces un resistor de multiplicación o multiplicador, porque permite leer en el instrumento un alto voltaje V , con sólo un bajo voltaje V , aplicado a través de la bobina. Por lo general, el multiplicador se monta dentro de la caja del instrumento, pero puede estar afuera si la gama de medidas es muy grande.

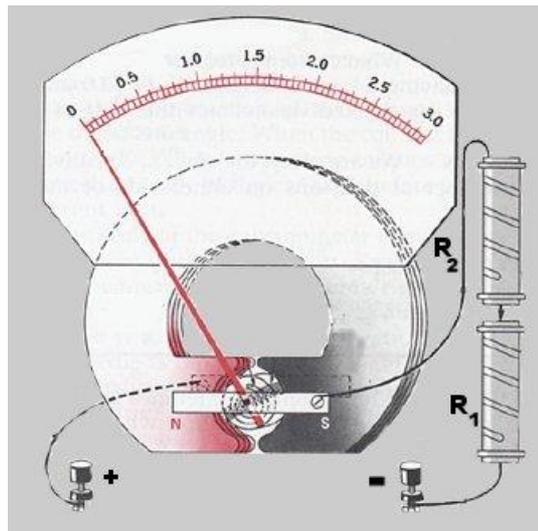


Fig.36 Voltímetro.

2.3.1. FORMA DE TOMAR UNA MEDICIÓN DE VOLTAJE

Primero se conecta el voltímetro en paralelo entre los dos puntos donde se realiza la medición. Dado que el voltímetro provee un camino paralelo, este

debería tomar en lo posible muy poca corriente. En otras palabras, un voltímetro debe tener una resistencia para que la corriente no sea consumido.

2.4. CORRIENTE

La corriente se refiere al flujo de las cargas eléctricas en el espacio en una dirección determinada. Se pretende con él describir el movimiento de la carga eléctrica en una dirección del espacio y medir la rapidez del flujo de carga. Se dice que existe una corriente eléctrica cuando hay un flujo neto de carga eléctrica en una dirección específica del espacio.

2.4.1. AMPERÍMETRO

El amperímetro se basa en que la corriente eléctrica al circular por un cable forma un campo magnético cuyo valor depende de la intensidad de la corriente. La "fuerza" de ese campo se puede detectar por la fuerza sobre un imán situado en ese campo. Si al imán se le acopla una aguja que se mueve sobre una escala cuando gira el imán, ya tenemos un aparato que detecta el paso de corriente (galvanómetro) y si lo calibramos con resistencias internas para que se mueva más o menos según la intensidad de corriente, tenemos un amperímetro.



Fig.37. Amperímetro de Gancho

2.4.2. FORMA DE MEDIR LA CORRIENTE

El amperímetro se coloca intercalado en el circuito en el que queremos medir la intensidad de corriente (circulación de electrones): es como cortar el cable en un punto e intercalar entre los dos extremos del cable el amperímetro. Esto es lo que se llama colocarlo en serie con el circuito. Al colocarlo así, toda la corriente del circuito circula por el amperímetro.

El circuito tiene ahora una resistencia añadida (R_A) porque el amperímetro lo "carga" y ya no es el circuito que queríamos estudiar, sino uno modificado. Para minimizar este efecto ponemos, paralelo al "mecanismo" del amperímetro y dentro de él, un cable "grosso" (con poca resistencia) para que casi toda la corriente pase por el cable y sólo una parte vaya al mecanismo del amperímetro.

2.5. VATÍMETRO

El vatímetro es un instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica o la tasa de suministro de energía eléctrica de un circuito eléctrico dado. El dispositivo consiste en un par de bobinas fijas, llamadas "bobinas de corriente", y una bobina móvil llamada "bobina de potencial".

Las bobinas fijas se conectan en serie con el circuito, mientras la móvil se conecta en paralelo. Además, en los vatímetros analógicos la bobina móvil tiene una aguja que se mueve sobre una escala para indicar la potencia medida. Una corriente que circule por las bobinas fijas genera un campo electromagnético cuya potencia es proporcional a la corriente y está en fase con ella. La bobina móvil tiene, por regla general, una resistencia grande conectada en serie para reducir la corriente que circula por ella.

En un circuito de corriente alterna la deflexión es proporcional al producto instantáneo medio del voltaje y la corriente, midiendo pues la potencia real y posiblemente (dependiendo de las características de carga) mostrando una lectura diferente a la obtenida multiplicando simplemente las lecturas

arrojadas por un voltímetro y un amperímetro independientes en el mismo circuito.

Los dos circuitos de un vatímetro son propensos a resultar dañados por una corriente excesiva. Tanto los amperímetros como los voltímetros son vulnerables al recalentamiento: en caso de una sobrecarga, sus agujas pueden quedar fuera de escala; pero en un vatímetro el circuito de corriente, el de potencial o ambos pueden recalentarse *sin* que la aguja alcance el extremo de la escala. Esto se debe a que su posición depende del factor de potencia, el voltaje y la corriente. Así, un circuito con un factor de potencia bajo dará una lectura baja en el vatímetro, incluso aunque ambos de sus circuitos esté cargados al borde de su límite de seguridad. Por tanto, un vatímetro no sólo se clasifica en vatios, sino también en voltios y amperios.

Los vatímetros son aparatos destinados a medir la potencia activa consumida entre dos puntos A y B de un circuito eléctrico. Los vatímetros pueden ser: electrodinámicos, de inducción, térmicos y digitales.

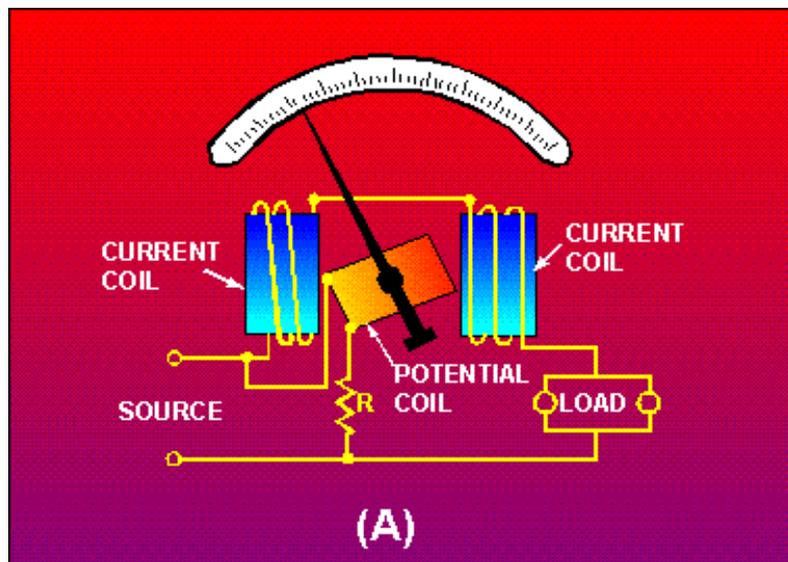


Fig.38. Diagrama interno de un vatímetro

2.6. POTENCIA APARENTE

La potencia aparente de un circuito eléctrico de corriente alterna, es la suma de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes.

Se considera que idealmente la energía de los componentes capacitivos e inductivos de un circuito eléctrico es devuelta al circuito mismo sin consumirse, cuando los campos correspondientes se destruyen. Es por ello que la potencia aparente no es la realmente disipada en una instalación eléctrica (salvo cuando su factor de potencia sea la unidad), y nos señala que la red de alimentación de no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a “entretener” bobinas, en forma de campos magnéticos, y condensadores, en forma de campos eléctricos.

2.7. POTENCIA REAL O ACTIVA

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

2.8. WATTHORÍMETRO

El vatímetro, *watthorímetro*, *contador eléctrico*, *contador de luz* o *medidor de consumo eléctrico* es un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica de un circuito o un servicio eléctrico, siendo esta la aplicación usual.

Existen medidores electromecánicos y electrónicos. Los medidores electromecánicos utilizan bobinados de corriente y de tensión para crear corrientes parásitas en un disco que, bajo la influencia de los campos magnéticos, produce un giro que mueve las agujas de la carátula. Los medidores electrónicos utilizan convertidores analógico-digitales para hacer la conversión.

El medidor electromecánico utiliza dos juegos de bobinas que producen campos magnéticos; estos campos actúan sobre un disco conductor magnético en donde se producen corrientes parásitas.

La acción de las corrientes parásitas producidas por las bobinas de corriente sobre el campo magnético de las bobinas de voltaje y la acción de las corrientes parásitas producidas por las bobinas de voltaje sobre el campo magnético de las bobinas de corriente dan un resultado vectorial tal, que produce un par de giro sobre el disco. El par de giro es proporcional a la potencia consumida por el circuito.

El disco está soportado por campos magnéticos y soportes de rubí para disminuir la fricción, un sistema de engranes transmite el movimiento del disco a las agujas que cuentan el número de vueltas del medidor. A mayor potencia más rápido gira el disco, acumulando más giros conforme pasa el tiempo.

Las tensiones máximas que soportan los medidores eléctricos son de aproximadamente 600 voltios y las corrientes máximas pueden ser de hasta 200 amperios. Cuando las tensiones y las corrientes exceden estos límites se requieren transformadores de medición de tensión y de corriente. Se utilizan factores de conversión para calcular el consumo en dichos casos.

También es importante indicar que existe una bobina de sombra que es una chapita la cual esta cortocircuitada. Dicha bobina posee una resistencia despreciable y por ende en esta se generará una corriente muy importante, la cual al estar sometida a un campo generara un par motor que eliminara el coeficiente de rozamiento de los engranajes. El medidor comenzara a funcionar con el 1% de la carga y entre un factor de potencia 0,5 en adelanto y atraso.



Fig.39. Watthorimetro

CAPITULO III

SMART GRID

(RED ELECTRICA

INTELIGENTE).

CAPITULO III

SMART GRID (RED ELECTRICA INTELIGENTE).

3.1. SISTEMAS SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) “Supervisión Control y Adquisición de Datos” son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basa en la adquisición de datos de los procesos remotos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además de permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso de tiempo real.

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de plantas, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.

- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU de la computadora.

3.2. DMS (SISTEMA MANEJADOR DE DOCUMENTACIÓN)

Un documento se define como información registrada en cualquiera que sea su formato ó el medio utilizado; los cuales son producidos o recibidos en una entidad en desarrollo de sus funciones o complementos de ella (DMS) es el software que almacena y permite la búsqueda de múltiples formatos de documentos (Metadatos) basados en categorías seleccionadas.

3.3. OMS

El sistema de gestión para la restauración de la red (OMS) contribuye a reducir el impacto de las interrupciones de suministro planificadas e incidentes imprevistos. Los sistemas de operación como el OMS permiten reducir el tiempo y los recursos necesarios para solucionar las interrupciones del servicio, mejorar los niveles de fiabilidad del servicio y aumentar la satisfacción del cliente.

El sistema OMS es capaz de coordinarse con centros de atención telefónica, centros de operación y equipos de campo para localizar las faltas y restablecer la energía rápidamente. También gestiona datos operativos del cliente y de la infraestructura de medición avanzada y distribuye aplicaciones e información a todo aquel que las necesite.

3.4. SMART GRID

La humanidad ha experimentado en el último siglo un gran desarrollo inmenso sustentado en el consumo energético basado en el aprovechamiento

de fuentes de energía de origen fósil. Estas energías han sido explotadas suponiendo una disponibilidad ilimitada y sin valorar en ningún momento los costos ambientales ocasionados.

Basados en estas formas de consumir combustibles fósiles, el ser humano se ha basado hasta la actualidad, en un modelo energético en el cual se sigue una rigurosa cadena que se lleva a cabo en el siguiente orden: generación, distribución, transporte y consumo.

Sin embargo, el cambio de este modelo es más que una necesidad hoy en día, teniendo el nuevo modelo a la diversificación de las fuentes de energía, un mayor aprovechamiento de las energías renovables y la eficiencia y el ahorro energético.

El nuevo modelo energético pretende transformar el sistema actual en un sistema distribuido, en el cual cualquier agente que esté conectado a la red puede aportar energía posibilitando la creación de microgeneradores, de forma que no existe una dependencia tan directa como con la generación energética actual.

Por eso para poder soportar las necesidades futuras se está haciendo uso de la tecnología tanto eléctrica como electrónica para poder obtener un modelo óptimo del suministro de la energía, desde las plantas de generación hasta los consumidores, mejorando la eficiencia, la confiabilidad, la disponibilidad y seguridad del suministro y uso de la energía eléctrica.

Con el interés y la necesidad de optimizar los procesos, así como de estar a la vanguardia científica y tecnológica, han llevado a muchos centros de investigación a desarrollar tecnologías tanto como para el sector privado como para el público, y para muestra, basta revisar lo que el instituto de investigaciones eléctricas ha hecho para el sector eléctrico mexicano, generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Un campo fértil para la innovación son las redes eléctricas inteligentes o smart grids, las cuales, aprovechando la infraestructura de comunicaciones, redes de datos e internet, permiten supervisar y controlar el flujo eléctrico y hasta son capaces de contribuir en la disminución del calentamiento global.

Smart Grid es una red eléctrica integrada en todos sus niveles (generación, transmisión y distribución), que funciona en forma eficiente, segura e interactiva entre la empresa suministradora y los usuarios.

Se trata de ampliar las opciones que tienen los consumidores para lograr ahorros en su consumo de energía eléctrica y de integrar a la red eléctrica la generación de la electricidad proveniente de fuentes renovables. También se trata de facilitar el acceso a la red a usuarios cada vez mas sofisticados, que requieren suministro de calidad propia de la era digital y que en un futuro cercano contarán con capacidad de generación propia, distribuida en las redes de baja y media tensión, así como un número creciente de vehículos eléctricos que se reabastecerán de energía conectándose a la red eléctrica.

Para su funcionamiento, esta red debe presentar una infraestructura de comunicaciones inteligente que proporcione, en todo momento, control y un conocimiento preciso sobre cualquier punto de la red. En ese sentido, existen diversos dispositivos que se conectan para su funcionamiento. Uno de ellos son los sincrofasores. Son dispositivos síncronos que muestrean la tensión y la corriente en puntos significativos. Los PMU muestran muchas veces por segundo (en torno a 30), para aportar datos acerca del régimen transitorio. Según los especialistas, con ellos se pueden detectar sobrecargas y cuellos de botella con más antelación y adoptar las medidas necesarias para prevenir apagones.

Otro dispositivo es la Infraestructura de Medida Avanzada, (AMI, por sus siglas en inglés). Con él, los consumidores se incorporarán al sistema y permitirá a los usuarios emplear la electricidad de forma más eficiente.

Asimismo, proporcionará a las compañías la capacidad de detectar problemas y gestionar la demanda, con el fin de operar más eficientemente.

En general las redes eléctricas inteligentes (smart grids) se consideran como un modelo óptimo para el suministro de energía, desde las plantas de generación hasta los consumidores, mejorando la eficiencia, la confiabilidad, la disponibilidad y la seguridad del suministro y uso de la energía eléctrica; todo esto mediante la aplicación de tecnologías avanzadas de información, de comunicaciones robustas en ambos sentidos, de control, de protección, de medición, sensores avanzados y de computación distribuida, contando con estructuras de datos para lograr cumplir con las interoperaciones que se manejan en toda la red. Todo lo anterior, trae consigo nuevas vulnerabilidades al sistema eléctrico, por lo tanto, otros de los temas de actualidad, es como mejorar la seguridad informática (cyber security) de la red eléctrica.

Smart grid ofrece ventajas para las empresas suministradoras y para usuarios. Esta red inteligente favorece a las compañías, ya que, gracias a ella, la energía se podrá gestionar de forma autónoma y permitirá controlar su gasto. Por otro lado, en cuanto a la eficiencia, permite realizar sofisticados análisis de los patrones de consumo, identificando oportunidades que posibiliten su reducción.

Comúnmente, el enfoque de las redes eléctricas inteligentes hacia los consumidores finales toma la forma de medición inteligente (smart metering) como un medio de enlace para la interacción, empresa eléctrica-consumidor. Los electrodomésticos inteligentes y los displays remotos (IHD, por sus siglas en inglés), interconectados con medidores inteligentes (smart meters) por medio de redes de comunicación de área residencial (HAN, por sus siglas en inglés), permiten a los consumidores tomar parte activa en los programas de las empresas eléctricas, relacionados con el uso eficiente de la energía y con el impacto ambiental.

En el futuro, estas redes inteligentes, como afirman los especialistas, entre muchas otras ventajas, reducirán picos de carga y generarán márgenes de reserva, eliminarán costos de capital de una nueva infraestructura T&D (transmisión y distribución), así como plantas de generación. Además, disminuirán las pérdidas de línea de T&D, junto con los costos de operación y mantenimiento. Redirigirán los flujos de potencia, cambiarán los patrones de carga y mejorarán los perfiles de tensión y estabilidad. Asimismo, permitirán a las cargas de almacenamiento de energía (ESS) y generación distribuida (DG) participar en las operaciones del sistema.

Las smart grid posibilitan un gran número de ventajas que no sólo se refleja en beneficios para empresas y usuarios, sino para el medioambiente y la generación de nuevos puestos de trabajo, investigación y tecnología. Sin duda, un universo de posibilidades que vislumbra un futuro muy prometedor.



Fig.40 Estructura de Red Inteligente

3.5. TECNOLOGÍAS QUE EXISTEN EN LA SMART GRID

3.5.1. AUTOMATIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN

En la automatización de la distribución (AD) se han desarrollado aplicaciones desde hace más de una década. El enfoque en AD es principalmente el seccionamiento automático de fallas sobre los alimentadores, estableciendo puntos de telecontrol sobre el circuito. Esto quiere decir que en cada punto del seccionamiento se realizara un monitoreo de variables básicas como corriente, voltaje y potencia instantánea, así como los estados digitales que disparan las alarmas ya sea por sobre corriente o por bajo voltaje. Para estos esquemas se están utilizando unidades terminales remota de poste (UTRp), para realizar el telecontrol de los puntos de seccionamiento desde los centros de control de operación. En este esquema de automatización son utilizados los medios de comunicación vía radio o líneas telefónicas dedicadas (hilo piloto) y se menciona que con los avances en las comunicaciones se buscan alternativas con telefonía celular.

Otras funciones que se logran con este esquema de AD es la regularización del voltaje con control de reactivos y localización de fallas automatizadas sobre ramales principales. En estas funciones se presentan retos importantes a resolver, sobre todo con el avance en los sistemas de protección DEI's (Dispositivos Electrónicos Inteligentes), así como los equipos de medición multifunción, los cuales pueden ser incorporados en versiones mínimas sobre puntos de seccionamiento, logrando la calidad en las mediciones. Con la conjugación y avances de los sistemas y medios de comunicación las aplicaciones en la automatización de la distribución vienen a considerar el concepto de redes inteligentes. En este sentido, el modelo del sistema eléctrico tradicional y jerárquico que ha sido utilizado tradicionalmente por la empresa eléctrica, viene transformando por el nuevo concepto de redes inteligentes (RI). En este se plantea un esquema integrado que incluye desde la generación, hasta el consumidor. Entre las funciones que se consideran planteadas modelo planteado por una RI se encuentran:

Participación activa de los consumidores; optimización de recursos eléctricos y una operación eficiente; inclusión de energía renovable y opciones de almacenamiento; el servicio eléctrico debe ser de alta calidad, tal como lo demandan las tecnologías digitales actuales; el sistema debe ser capaz de responder a disturbios y auto repararse; alta seguridad en los sistemas y equipos que resistan a ataques físicos y cibernéticos; tener la habilidad de manejar e incluir nuevos productos, servicios y mercados.

3.5.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA

- Optimización de la administración de la demanda, utilizando modelos de carga que permitan maximizar el uso de recursos eléctricos, con el objetivo de reducir picos de demanda y pérdidas.
- Despacho automático de reactivos de la red de distribución.
- Los SCADA, DMS, OMS utilizados, deberán incluir más análisis y funciones de control para la operación del tiempo real del sistema.
- Manejo de la participación de consumidor a través de los AMI medidores inteligentes.
- Incorporación de generación distribuida.

CAPITULO IV

MEDIDORES

INTELIGENTES

CAPITULO IV

MEDIDORES INTELIGENTES

Con el fin de calcular el costo de la energía consumida a nivel residencial e industrial, surge la facturación y medición del consumo eléctrico, la cual se convierte en una tarea, del proceso de distribución eléctrica.

La medición eléctrica comercial se lleva a cabo mediante el uso de medidores de consumo eléctrico, los cuales en su manera general, miden parámetros eléctricos, tales como son:

- Consumo en kilowatt-hora
- Demanda máxima
- Demanda base
- Demanda intermedia
- Demanda pico
- Factor de potencia

Para poder llevar a cabo la transmisión de los datos e información del consumo eléctrico en tiempo real, es necesario el uso de un equipo de medida distinto a los medidores electromecánicos y por esta razón se necesita definir una nueva forma de medir denominada *smart metering* (medición inteligente), esta se refiere al proceso de medición por el cual se cuantifica y transmite instantáneamente la información de las cantidades de energía consumidas o producidas para su gestión en la red eléctrica.

Para el sector eléctrico Smart Metering incluye la posibilidad de actuar sobre el sistema de consumo, con la acción de conexión-desconexión

mediante el Interruptor de Control de Potencia (ICP) de la instalación, que puede estar integrado en el propio medidor.

Los sistemas smart metering se basan en sistemas electrónicos de medida y tienen como objetivo principal dos aspectos:

- Mantener informado al consumidor y al proveedor de energía, acerca de los valores en tiempo real del consumo energético.
- Cuantificar instantáneamente el estado de la red de distribución eléctrica del lado del consumidor.

De esta forma en la vertiente de información, le permite al consumidor tener información clara acerca de su consumo y de esta manera establecer políticas de ahorro o producción de energía y con esto disminuir de manera significativa el impacto ambiental y económico por la utilización de la energía.

De esta forma el consumidor lograra participar de manera activa en la mejora de la calidad del servicio eléctrico.

Por otro lado en la vertiente de cuantificación, permite al proveedor de energía realizar de forma más eficiente su trabajo, mejorando la calidad del servicio y ofreciendo nuevos servicios a los usuarios.

La definición evoluciona según avanza el desarrollo tecnológico, implementando nueva tecnologías y confirmando por que smart metering beneficia a mejorar la calidad de las redes eléctricas y satisfacer de una mejor forma las necesidades de los consumidores.

4.1. EVOLUCION DE LOS MEDIDORES INTELIGENTES

Con el invento de la bombilla eléctrica de Tomas Alva Edison se empezó la ramificación para la obtención de iluminación. Edison quien introdujo la

primera red de distribución eléctrica de iluminación en DC, afirmo que la electricidad que se vende se usa ampliamente para la iluminación.

Edison patento en 1881 un medidor de electricidad se usó un efecto electroquímico de la corriente. Que contenía una celda electrolítica, donde en el período de liquidación anticipada se colocó la placa de cobre perfectamente equilibrado. La corriente que pasa a través del electrolito para causar la precipitación de cobre. Al final del período de facturación, la placa de cobre se pesa de nuevo, y la diferencia de peso muestra la cantidad de electricidad que ha pasado por ella. Este contador está calibrado de tal manera que las cuentas se pueden mostrar en pies cúbicos de gas. Estos medidores se utilizaron hasta finales del siglo 19, pero su gran inconveniente era para realizar las lecturas de los datos.

Después se realizaron unos medidores con el principio de la barra del péndulo, en el cual eran 2 bobinas de corriente. La interacción de las bobinas era que uno de los péndulos se movía lentamente y otro más rápido, el cual es el mismo principio que utilizan los relojes.

Estos medidores han sido costosos, ya que contienen dos mecanismo de tiempo, y poco a poco sustituido los medidores de motor. Contra el péndulo posible medir los amperios-hora o vatios-hora, pero puede ser utilizado exclusivamente para redes de corriente continua.

Por el año de 1889 se realizo un medidor con un motor de grabación, en estos medidores, el par es proporcional al punto de carga y compensatorias, por lo tanto, la frecuencia del rotor es proporcional a la carga, mientras que los momentos se encuentran en equilibrio.

Fue el motor con un ancla sin la base del metal, que va desde la tensión pasa por la bobina y la resistencia con el colector. El estator se pone en marcha la corriente, y por lo tanto, el par es proporcional al producto del voltaje y amperaje. Par de frenado está garantizada por electroimán constante, lo que afectó el disco de aluminio unido al ancla.

Así que los medidores ya eran capaces de determinar la cantidad de energía que era consumida en el transcurso del día por medio de su "vatímetro de grabación" quien fue desarrollado por Elihu Thomson (1853-1937) para la compañía "GE" (General Electric).

En la década de 1990, se toma la lectura automática de los medidores (AMR), la tecnología de la toma de la medición de los datos y la transferencia de estos a una base de datos central para la facturación, resolución de problemas y el análisis. Esta tecnología guarda los proveedores de servicios públicos a expensa de los viajes periódicos a cada ubicación física de la toma de lecturas. Además con la llegada de los nuevos medidores, la facturación se hará en tiempo real y no en estimaciones basadas en el consumo anterior

4.2. MEDIDORES INTELIGENTES

La implementación de los medidores inteligentes es uno de los programas más grandes y complejos realizados por la industria de la energía. Donde más de 50 millones de metros serán reemplazados en la renovación completa de los medidores de electricidad y gas para los clientes domésticos y pequeños sitios que no sean nacionales.

Con la mirada puesta a la resolución de algunas controversias que se debe a la causa de los medidores inteligentes, se ha presentado un marco para la cuantificación de los costos y los beneficios de los medidores inteligentes de una amplia variedad de puntos de vista a través de una gama de servicios y tipos de clientes. Los tipos de servicio permitirán variar en cuanto a sus formas de carga y mezclas del suministro eléctrico incluyendo energías renovables y otras fuentes de energía, así como estructuras de costos y mediciones de corriente.

Los medidores inteligentes proporcionaran una comunicación de dos vías entre la compañía suministradora y el cliente permitiendo de ese modo:

- Ventajas operacionales, tales como la detección de corte de energía
- Carga inteligente para los vehículos eléctricos
- La integración de recursos para la generación distribuida.

Pero el principal objetivo es proporcionar un marco que sean los suficientemente generales para poder ser adaptado a cada tipo de persona y/o servicios públicos.

Para ciertos tipos de servicios públicos, atraer a los clientes en los programas de gestión de energía inteligente no es necesario desde una perspectiva de beneficio. Dichas utilidades muestran beneficios netos.

El poder de la red inteligente se desato por el bien de la sociedad y para la sostenibilidad energética, en la estimación de los beneficios dirigidos a los consumidores de los medidores inteligentes.

Se realizara una importante inversión con la participación de los clientes, lo que permitirá la realización de amplios beneficios económicos a más personas, servicios públicos y la sociedad.

Dada la baja penetración de los recursos distribuidos en este momento, no se integra o cuantifica el valor incremental y los beneficios ambientales de la integración de los generadores de distribución de energía renopvabe. Sin embargo la generación distribuida solo aumentaría los beneficios de los medidores inteligentes.

Una pregunta que surge constantemente en los debates sobre la modernización de red es si la inversión en medidores inteligentes (AMI) tiene sentido económico, desde una perspectiva de costo y beneficio.



Fig.41. Medidor inteligente

4.2.1 BENEFICIO DE LOS MEDIDORES INTELIGENTES

- Beneficios operativos permiten a la compañía suministradora ofrecer un servicio más confiable, rápido, remoto y una mejor detección de interrupción y la recuperación de la energía a un menor costo.
- Ventajas para el cliente en la gestión de la energía impulsado por la información y/o señales de los precios, lo que conduce a la reducción de la electricidad uso o desplazamiento de la carga y la oportunidad de reducir las facturas o mitigar el aumento de los costos.
- Beneficios sociales de la respuesta de demanda y el control directo de la carga, lo que permite la reducción de las compras punta, lo que aplica presión para la baja de los precios. Potencialmente la reducir las emisiones de carbono mediante la integración de la generación de distribución más limpia y las reducciones de consumo en uso domestico.

Los clientes varían en términos de energía. No solo se consideran que puedan variar por las regiones ya que es propenso a la variación de su uso, sino también, el uso de dispositivos de gestión de la energía en el hogar, su voluntad de participar en programas de tarifas inteligentes, los tipos de

vehículos y aparatos que compran, y su participación global en el uso de la electricidad.

La participación para los planes de gestión para corresponder con 4 segmentos de clientes dominantes, que se describen a continuación:

1. **Básico:** para los consumidores que no desean participar en lo absoluto.
2. **Confort:** Para los que tienen casas de cargas amplias, con aire acondicionado, electrodomésticos, interés mínimo en la energía, el compromiso y la preocupación sobre sus facturas.
3. **Saver:** Es para aquellos motivados principalmente por la oportunidad de ahorrar dinero en sus facturas o mitigar los posibles aumentos en sus facturas.
4. **Verde:** para aquellos motivados por preocupaciones ambientales y dispuestos a ser más comprometidos.

Con la nueva llegada de los medidores inteligentes, se evitarán los fraudes a la compañía eléctrica, sacaran estadísticas, por ejemplo (sabrán a qué hora llegas a casa, si te vas de vacaciones, cuanta gente vive en la casa, cuando te conectas a la televisión y computadora, así como los aparatos eléctricos que enchufas a tu red, y todos estos datos pasarlos directamente a la compañía para procesarlos, estadísticas de consumo, corte del suministro por falta de pago, (será al instante) y desde la central ,sin que ningún operario de la compañía se presente en las inmediaciones del domicilio, para proceder al corte de suministro de manera mecánica, alta de línea automáticamente desde la central, control de cortes de suministro por falta de potencia contratada (vigilancia de conexión a la red del domicilio de exceso de aparatos eléctricos, que pueden sobrecargar la línea) etc.

Los medidores inteligentes de energía eléctrica están diseñados para transmitir información sobre el consumo de electricidad de un hogar o negocio directamente a la utilidad. La información que están controlando, por lo general

en intervalos de una hora, se incluyen los patrones de consumo y el uso total. La información se transmite a la utilidad a través de una conexión inalámbrica típicamente una vez por día. Esta información permite a la utilidad para ajustar la oferta sobre la base de la demanda prevista y proporciona la utilidad con una manera de medir su uso sin necesidad de enviar a alguien a leer el medidor. Aunque el objetivo final es ahorrar en el consumo de energía.

También se han diseñado para comunicarse con un sistema en el hogar y así poder controlar y regular el consumo de energía de los electrodomésticos y aire acondicionado. Esta información ayudaría a los usuarios para conocer los tiempos pico de uso, en el caso de dispositivos inteligentes, para manejar los aparatos o para ajustar los termostatos de forma remota. La parte orientada al consumidor de la tecnología inteligente es en gran parte en fase de desarrollo con las ofertas limitadas disponibles en la actualidad.

La mayor parte de los beneficios que hasta ahora han sido en el lado de la utilidad de la red eléctrica. Por los patrones de uso de control de los servicios públicos de manera más adecuada puede planificar para los picos y valles en la demanda.

Los problemas de la seguridad de los medidores inteligentes y las emisiones de radio frecuencia (RF) parecen haber sido en gran medida exagerada. La información se transfiere a través de una red encriptada. Y con la transmisión diaria de información que tiene menos de un minuto, las emisiones de RF total de aproximadamente 1/1, 000 de las emisiones provenientes del uso diario de teléfonos celulares.

El beneficio real para los consumidores será el desarrollo de un sistema de monitoreo de bajo costo para uso doméstico. De esta manera ambos lados del medidor puede utilizar la información para los costos de energía más bajos.

Estos sistemas se usan para la telemedida y telegestión de electricidad, agua, gas, etc, o la supervisión y telegestión de parques eólicos, fotovoltaicos, autómatas, domótica, o centrales de alarmas.

La compañía tiene información al instante del consumo eléctrico (telemedida), y además tiene el control total de la red (telegestión). El control de consumo en tiempo real favorece la gestión de red, ahorro energético, integrar energías renovables, evitar sobrecargas (apagón), y facturar el gasto eléctrico real.

4.2.2. MEDIDORES INTELIGENTES INALÁMBRICOS

Todos los medidores eléctricos de este tipo emiten campos electromagnéticos (CEM), con frecuencia el cuadro de contadores es fuente importante de campos electromagnéticos de baja frecuencia (50 Hz). Un contador convencional es un pequeño “motor eléctrico”, y todos los motores eléctricos emiten CEM (lavadora, batidora, PC).

La campaña de sustitución de medidores digitales (Smart Meter/medidores inteligentes) suscita alarma porque, según nuestros informes, se están instalando contadores inalámbricos, microondas similar a Wifi-Wimax, en varias comunidades.



Fig.41. Estructura y alcance de los medidores inteligentes.

4.2.3 MEDIDORES INTELIGENTES DE RED FIJA

Red Fija AMR es un método en el que está permanentemente instalado una red para capturar lecturas de los contadores. Este método puede consistir en una serie de antenas, torres, coleccionistas, repetidores, u otras infraestructuras de instalación permanente para recoger las transmisiones de lecturas de los medidores AMR capaces y obtener los datos a un ordenador central, sin una persona en el campo para recogerlo. Hay varios tipos de topologías de red en uso, para obtener los datos del medidor de nuevo a un ordenador central. Una red en estrella es la más común, donde un medidor transmite sus datos a un colector central o repetidor. Algunos sistemas utilizan colectores sólo que reciben y almacenar datos para su procesamiento. Otros también utilizar un repetidor que envía la lectura de un área más remota de nuevo a un colector principal sin llegar a almacenar. Un repetidor puede ser transmitido por la señal de RF o, a veces se convierte en una red cableada como el teléfono o la red IP para obtener los datos de nuevo a un coleccionista. Algunos fabricantes están desarrollando redes de malla, donde ellos mismos metros actúan como repetidores que pasan los datos a los contadores de cerca hasta que se llega a un colector principal. La ciudad sueca de Gotemburgo, está teniendo sus medidores eléctricos conectados de esta manera, mediante el ZigBee protocolo. Una red en malla puede salvar a la infraestructura de puntos de recogida de muchos, pero es más intensivo de datos en los medidores. Uno de los problemas con las redes de malla, que la batería de los operados pueden necesitar más energía para el aumento de la frecuencia de transmisión. También requiere que los dispositivos medidores ser receptores, así como transmisores de que podría hacer individuo receptor costo más elevado. Sin embargo, el costo adicional puede ser compensado por los ahorros de los colectores múltiples y antenas repetidoras y lugares para encontrar a montar. Algunos sistemas de redes fijas también son capaces de ser instalado como un sistema híbrido de AMR , donde se entremezclan redes fijas y móviles de diseño. En un sistema híbrido, parte del sistema es leído por la red fija, y las partes pueden leer por la tecnología móvil u otro, o ambos.

Utilidades con una densidad de zonas rurales de baja no puede justificar el costo de la infraestructura de red fija para las partes de su área de servicio, utilizándolo sólo para las zonas de mayor densidad o cuentas comerciales. Algunas redes híbridas permiten la lectura de un metro por ambos métodos simultáneamente como una fuente de redundancia. En el caso de un fallo de la red debido a un desastre natural, el sabotaje, fallo de alimentación, o la interrupción de red, el sistema de lectura móvil está disponible en su plan de recuperación de desastres como un medio alternativo de recolección de datos a la red fija.

¿Cuáles son los beneficios de un medidor inteligente a través de un medidor inteligente y porque tengo que tener uno?

Las funciones adicionales deben mejorar el servicio, ayudando a reducir el consumo de energía y ahorrar dinero. La compañía suministradora estará obligada a adoptar todas las medidas razonables para instalar medidores inteligentes

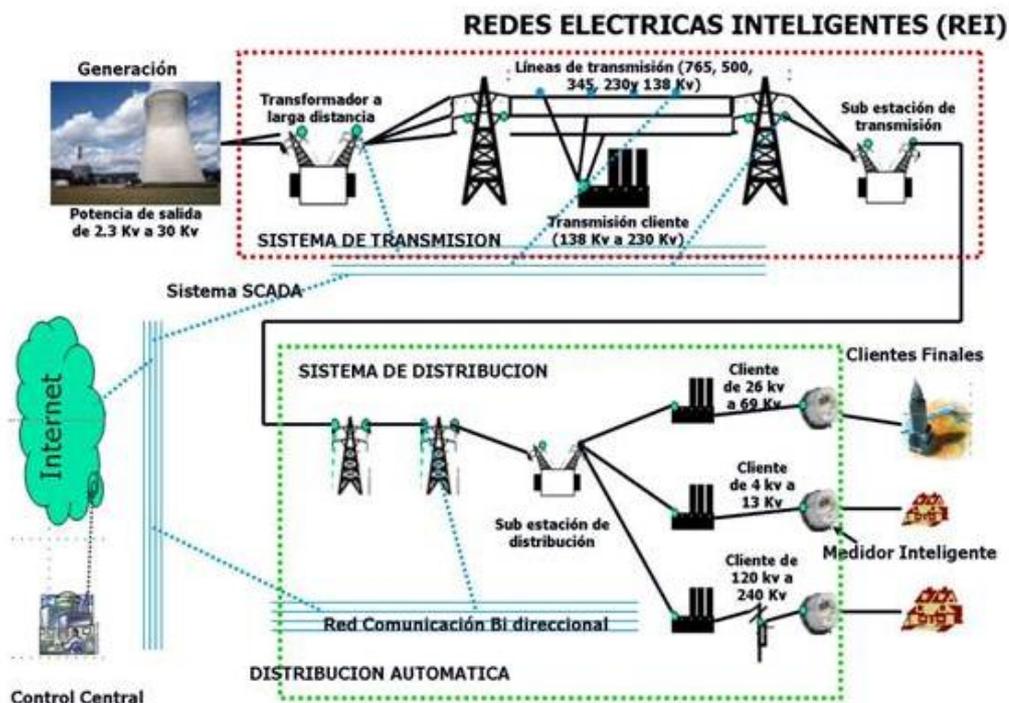


Fig.42. Relación entre la red eléctrica y los medidores eléctricos inteligentes.

4.2.4. VENTAJAS DEL MEDIDOR INTELIGENTE

Los sistemas avanzados de medición puede proporcionar beneficios para los servicios públicos, proveedores y clientes al por menor. Los beneficios serán reconocidos por las empresas de servicios públicos con mayor eficiencia, la detección, notificación de corte de manipulación y los costes laborales reducidos como resultado de la automatización de lecturas, las conexiones y desconexiones. Los proveedores al por menor serán capaces de ofrecer nuevos productos innovadores, además de la personalización de paquetes para sus clientes. Además, con los datos del medidor es fácilmente disponible, los ciclos de facturación más flexibles estará a disposición de sus clientes en lugar de seguir la utilidad estándar de ciclos de lectura. Con la información de uso a tiempo a disposición del cliente, los beneficios se verán a través de oportunidades para administrar su consumo de energía y cambiar de uno a otro con los datos reales del medidor. Debido a estos beneficios, muchas empresas se están moviendo hacia la aplicación de algunos tipos de soluciones AMR.

- **¿Por qué lo está haciendo el gobierno?**

Es por que los medidores inteligentes apoyan la transición para poder tener una baja emisión de carbono. Esto nos ayudara a cumplir con el desafío de asegurar un suministro de energía seguro y sostenible, el cual dará a los consumidores la información para ayudar a reducir la cantidad de energía que utilizan, así como el corte de energía de la compañía suministradora y costos de servicio a clientes.

¿Qué es un medidor inteligente y como funciona para los consumidores no domésticos?

Los medidores inteligentes que utilizan los consumidores no domesticos tendrán un número de capacidad de claves comunes para poder saber:

- Los datos que pueden ser comunicados entre la compañía suministradora y el medidor.
- Los datos pueden ser leídos a distancia por la compañía suministradora lo que permite una facturación precisa y oportuna.
- La capacidad para conectar los dispositivos al medidor, tal como un teléfono o una computadora.
- El equipo que se ha relacionado con el medidor puede ser apagado automáticamente por el consumo en particular para que se beneficien con los diferentes niveles de precio.
- La electricidad puede ser activada y desactivada remotamente por la compañía suministradora.

4.2.5. LOS BENEFICIOS DE LA MEDICIÓN INTELIGENTE DE LA UTILIDAD

- Lectura del medidor exacto, desaparece la lectura estimada
- Mejora de la facturación
- Clases de perfil preciso de medición y las clases, los verdaderos costos aplicados
- Mejora de la seguridad y la detección de manipulación de los equipos
- Gestión de la energía a través de datos de perfiles gráficos
- Menos carga financiera para corregir errores
- Transparencia de los "costes de leer" La medición
- Poder de compra mejorada, "con riesgo de provocar" el precio
- Mejora de la facturación.

Aunque la mayoría de ventajas son para las empresas suministradoras, por el costo que tiene esta tecnología.

4.2.6. DESVENTAJAS DEL CONTADOR INTELIGENTE

- La pérdida de la privacidad - la indicación de uso de revelar información acerca de las actividades del usuario
- Gran potencial para el seguimiento por parte de terceros de otros / no autorizados
- Disminución de la fiabilidad (metros más complicados, más posibilidad de interferencia por parte de terceros)
- El aumento de los riesgos de seguridad de red o de acceso remoto.
- Riesgos de contaminación electromagnética por uso de wifi o sistemas de microondas.
- La pérdida de muchos puestos de trabajo (lector de contador).

- **¿Cómo voy a estar protegido?**

Los proveedores estarán obligados a cumplir con un código de prácticas que regula la instalación de medidores inteligentes para el hogar y los sectores no residenciales. Este código se tendrá en cuenta las necesidades específicas de los consumidores no domésticos, por ejemplo, alrededor de minimización de interrupciones de negocio. Protecciones existentes serán revisados para determinar si se necesitan actualización o nuevos introducidos. El proveedor de energía, tendrá la responsabilidad constante de proteger los intereses de los consumidores antes y durante la medición.

4.2.7. SOLUCIONES QUE DA UN SISTEMA DE MEDICION INTELIGENTE

- Adquirir visibilidad del desempeño energético de la organización a través de una plataforma sencilla, fácil de usar y con acceso seguro a través de la web.

- Analizar el desempeño actual y planear un futuro basado en datos reales y precisos de consumo.

- Ponerse al día rápidamente gracias a las herramientas disponibles en la plataforma.

- Establecer un flujo de información energética creando documentación y reportes específicos en base a las necesidades de cada organización.

- Adquirir conocimiento crítico y un profundo entendimiento de los patrones de consumo de energía para maximizar y mediar las políticas de eficiencia de energía.

- Administrar los recursos energéticos que ayuden a identificar y mejorar el comportamiento de los consumidores con más bajo rendimiento.

- Permite establecer factores de consumo (KPI) de acuerdo a las métricas de cada organización.

CAPITULO V
APLICACIÓN DE
MEDIDORES
INTELIGENTES, (VIP'S
VALLEJO, MÉXICO D.F)

CAPITULO V

APLICACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES, (VIP´S VALLEJO, MÉXICO D.F)

5.1 PROYECTO SUBMEDICION WAL-MART

Con el objetivo principal de aumentar su eficiencia energética, los últimos años, la cadena de almacenes de descuento como : Súper center, Superama, Bodega Aurrera, Sam´s Club, Vips y Portón, inicio una reestructuración del manejo de energía eléctrica, instalando en todas sus sucursales, la tecnología “Smart metering”, para de esta manera monitorear de manera remota todos los consumos de cada una de sus sucursales y llevar un manejo adecuado de sus mantenimientos preventivos y del uso eficiente de la energía eléctrica que consumen.

En este caso, de manera paralela a la medición realizada por CFE, Wall-Mart, implemento equipos de sub-medición inteligente, los cuales son monitoreados de manera remota por la empresa SEMHUNT con base en Monterrey, Nuevo León.

¿Por qué sub-medición?

En términos generales el concepto de sub-medición nos sirve para:

- Interpretar lo que está ocurriendo
- Tomar medidas cuando las variables salen de los límites establecidos.
- Definir la necesidad de introducir un cambio y evaluar las consecuencias.

- Planificar actividades para dar respuesta a nuevas necesidades.

5.1.1. EQUIPOS INSTALADOS

En todas las unidades de la cadena Wal-Mart, se usaron equipos de submedición inteligentes de la marca “E-mon”, los cuales monitorean en tiempo real los consumos de manera independiente de áreas como:

- Transformador (interruptor Principal).
- Aire Acondicionado
- Refrigeración
- Fuerza
- Sistemas
- Alumbrado



Fig.43. Medidores inteligentes E-mon

De esta manera se instalaron medidores Clase 3200 y 3400, los cuales son equipos con capacidad para medir y registrar el perfil de la demanda en KW y KWH. Los equipos clase 3400 vienen preparados para conectarse mediante un protocolo Ethernet Ez7.



Fig. 44. Medidor inteligente E-Mon clase 3200

Ambos son medidores versátiles que también tienen funciones de medición del Factor de potencia, valores instantáneos de potencia, voltaje y corriente, además de poder leer pulsos generados por un medidor externo.

Para que los equipos de medición trabajen de manera correcta son censados por sensores de corriente de núcleo dividido con salida de 0-2 Volts y gracias a este núcleo dividido no hay necesidad de interrumpir el suministro eléctrico durante su instalación.



Fig. 45. Transformador de corriente de 50 A.

Estos equipos pueden trabajar perfectamente con capacidades de 120/240 y 277/480 Volts, 3 Fases y 3 o 4 hilos.

5.2. PROCESO DE INSTALACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS

Los equipos son instalados en la subestación eléctrica y dependiendo las necesidades de la tienda, será el número de medidores a instalar, en este caso específico, nos centraremos en la instalación de equipos de submedición remota, en la subestación eléctrica del Vip's "Vallejo" en el Distrito Federal de

la cadena Wal-Mart, en el cual se instalaron 5 equipos, para medir las siguientes áreas:

- Transformador (interruptor Principal).
- Sistemas
- Alumbrado
- Refrigeración
- Aire Acondicionado

El primer paso para la instalación, es llevar una inspección minuciosa de las instalaciones y ubicar perfectamente la subestación y el cuarto de sistemas, ya que en el primero se colocaran los equipos de medición y en el segundo respectivamente, llegara el cable de red para monitorear de manera remota los datos de los medidores.

El segundo paso es identificar los tableros donde se alojan los interruptores de las diferentes áreas a medir, haciendo las pruebas correspondientes para tener completa seguridad que corresponden a lo que se pretende censar.

Una vez identificados los circuitos, se fija una base en el muro donde se instalaran los equipos y se prosigue a fijar los 5 equipos y un porta fusible con interruptor de protección de 15 AMP, en la base anteriormente colocada.

Ya fijados los equipos de manera correcta, se coloca la canalización. Por un lado, se coloca tubería conduit galvanizada pared delgada de 16mm, para alojar el cable de red que irá desde la subestación, hasta el cuarto de sistemas y respectivamente un tubo conduit pared delgada galvanizada de 27mm, para alojar el cable de control de los transformadores de corriente y otro de 21mm para alojar 5 conductores calibre 14 de alimentación, de manera independiente.



Fig. 46 Fijación de Medidores y tubería.

En el momento en que se encuentra colocada la tubería de manera correcta, se instalan los transformadores de corriente. Es importante verificar que los medidores sean de la capacidad de amperaje necesaria para el circuito a monitorear, además de requerir un sensor por fase.

Para colocar los sensores, se llevan a cabo los siguientes pasos:

- 1.- Se abre el ensamblaje de dos piezas liberando el núcleo de la abrazadera de plástico.
- 2.- Se re-ensambla el sensor alrededor del conductor que se vaya a monitorear. Cada sensor tiene escrita la palabra "LOAD" de un lado, y una flecha coloreada del otro, la palabra "LOAD" tendrá que estar viendo hacia la carga a monitorear y la flecha deberá apuntar en dirección de las manecillas del reloj alrededor del conductor monitoreado.

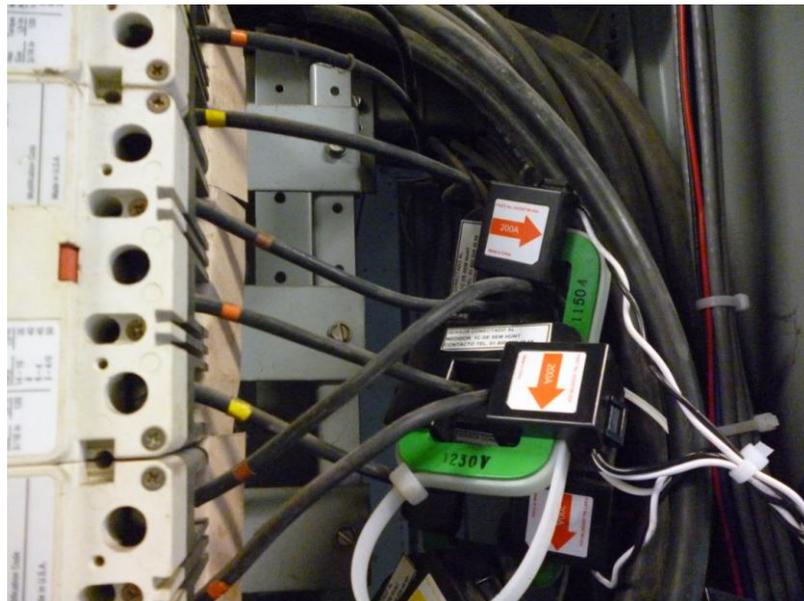


Fig. 47 Ensamblaje de transformadores de corriente en alimentadores a medir.

Es importante que los sensores abrasen completamente los conductores y que el sensor cierre totalmente.

Después de colocar de manera correcta los sensores, se procede a conectar el cable desde los sensores hasta las terminales de conexión de su respectivo medidor.

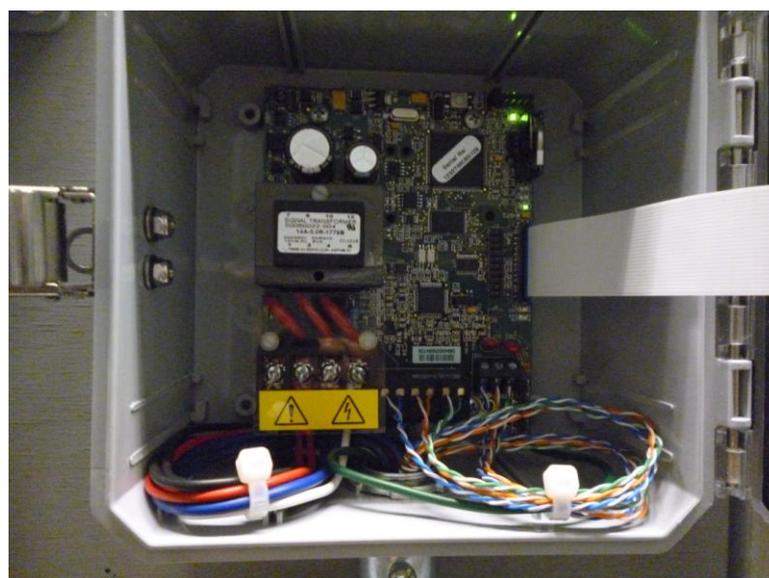


Fig. 48. Conexión interna del equipo de medición.

Una vez instalados los sensores de manera correcta se procede a energizar los mismos. Esto se hace conectando 5 conductores calibre 14 en colores negro, rojo y azul para las fases, en color blanco para el neutro y en color verde para la tierra, desde algún interruptor del tablero general hasta el interruptor de 15 AMP anteriormente colocado, en donde se encuentran ubicados los equipos de medición, a su vez, este interruptor alimentara de manera paralela a cada uno de los medidores.



Fig. 49 Interruptor de 3x15 Amp.

Por otro lado también se tiende el cable de red (UTP categoría 6) que ira conectado desde el medidor hasta la parte trasera del patch panel ubicado en el cuarto de sistemas. Después de conectar el cable de red al patch panel se coloca un cable patch cord desde el puerto donde se coloco el cable de red a un puerto libre del switch mas cercano

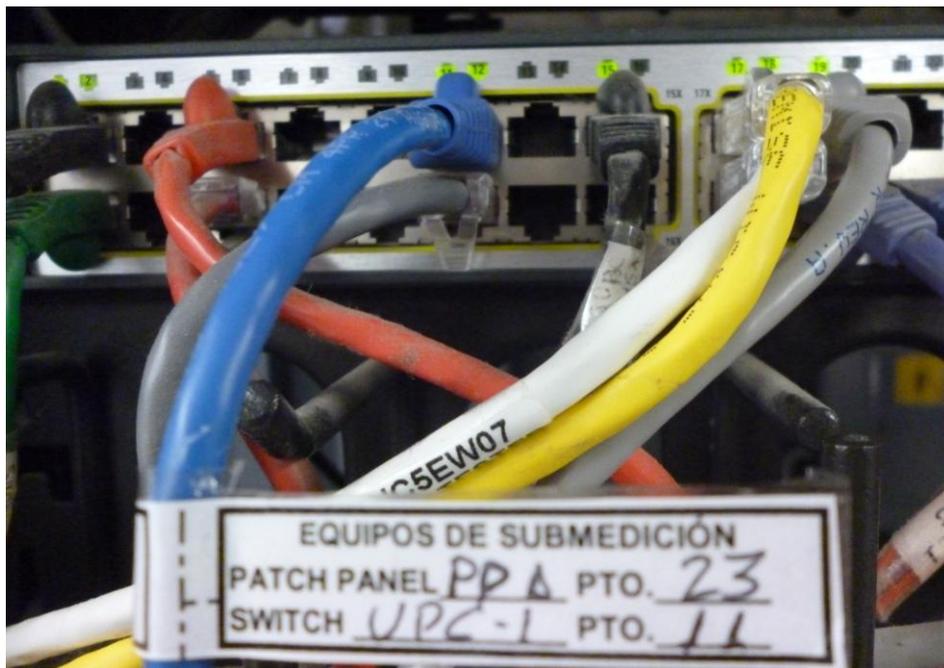


Fig. 50. Conexión de cable patch cord a Patch Panel.



Fig. 51 Conexión de Cable de red en equipo de medición



Fig. 52 conexión de cable de red a parte trasera del patch panel.



Fig. 53 Conexión de patch cord a switch principal.

Después de tener todas las conexiones correctamente, tanto de alimentación como de sensores, se encienden los equipos de medición para corroborar que se hicieron las conexiones de manera idónea, esto se comprobaba si en la parte inferior del display de los medidores no aparece ningún error. Los posibles errores por conexión o fallas del mismo medidor pueden ser; PH SEQUENCE ERROR, OVERLOAD, PH-ANGLE (ABC), CHECK METER, CT ERROR A, CT ERROR AB, CT ERROR AC y LOW BATTERY.

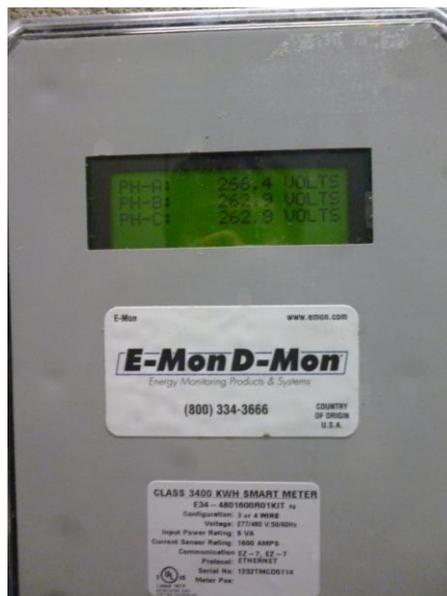


Fig. 54. Display de equipo de medición

5.2.1. SOLUCION DE POSIBLES ERRORES

5.2.1.1. PH SEQUENCE ERROR

Este error aparece cuando esta invertido el faseado de la alimentación y se corrige invirtiendo las fases hasta que el error desaparezca.

5.2.1.2. CT ERROR A, CT ERROR AB Y CT ERROR AC

Este tipo de errores se soluciona invirtiendo el faseado de los sensores dentro del medidor. Si el error aun aparece, será necesario verificar la polaridad de los sensores con error.

5.2.1.3. OVERLOAD (SOBRECARGA)

Indica qué sensor presenta sobrecarga. Cuando la carga sobrepasa el 25% de su capacidad nominal.

Se soluciona sustituyendo los sensores por otros de mayor amperaje.

5.2.1.4. PH-ANGLE (ABC)

Factor de Potencia muy bajo debido a ángulo de fase mayor a 50°. También aparece debido a sensores intercambiados.

5.2.1.5. CHECK METER

Posible error en circuitos internos o programación del medidor.

Para corregir este error es necesario volver a programar el medidor, verificando que todo se ingrese de manera correcta y si persiste el error se debe de llamar al fabricante para la sustitución del equipo, por fallas de fabricación.

5.2.1.6. LOW BATTERY

Batería interna agotada o no presente.

Este error no es relevante, ya que los medidores son alimentados desde el interruptor y no se utiliza la batería interna y es solucionado reiniciar el medidor.

El siguiente paso a seguir es hacer mediciones con un multímetro en cada una de las fases de los interruptores medidos para corroborar que efectivamente se estén censando valores iguales a los que se estén mostrando en los display's de los medidores.

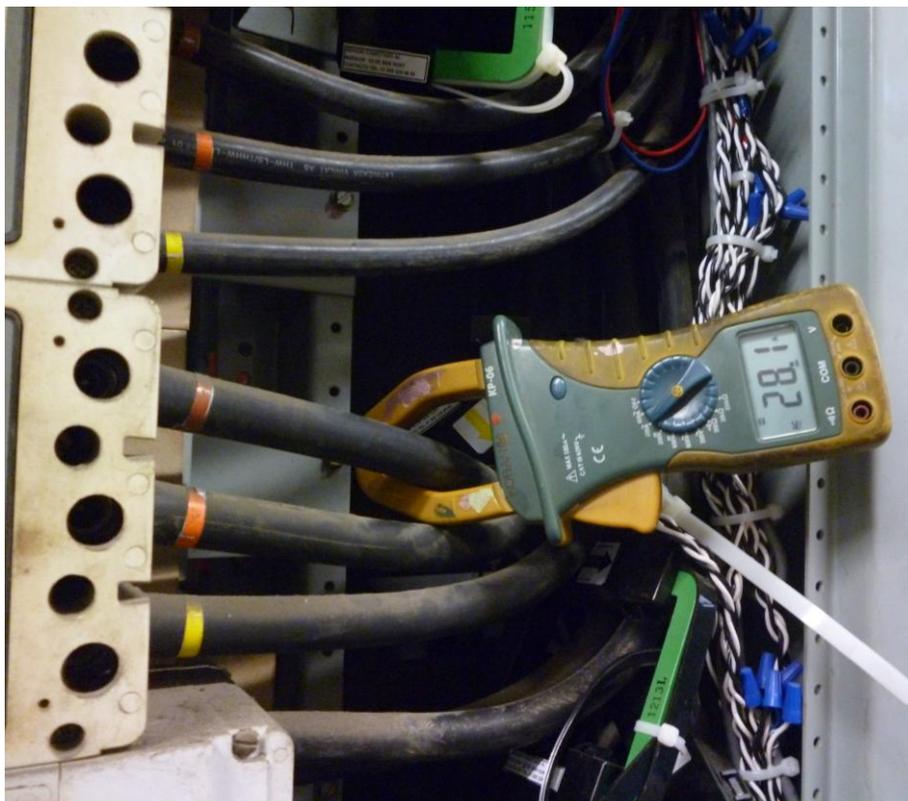


Fig. 55. Medición de corriente en alimentadores.

Una vez hechas las mediciones correspondientes se revisa la continuidad del cable de red conectado desde el medidor hasta el patch-panel del cuarto de sistemas. Esto se realiza colocando en cada uno de los extremos

del cable un medidor de continuidad para checar, tanto continuidad como una correcta conexión, como se muestra en las figuras.

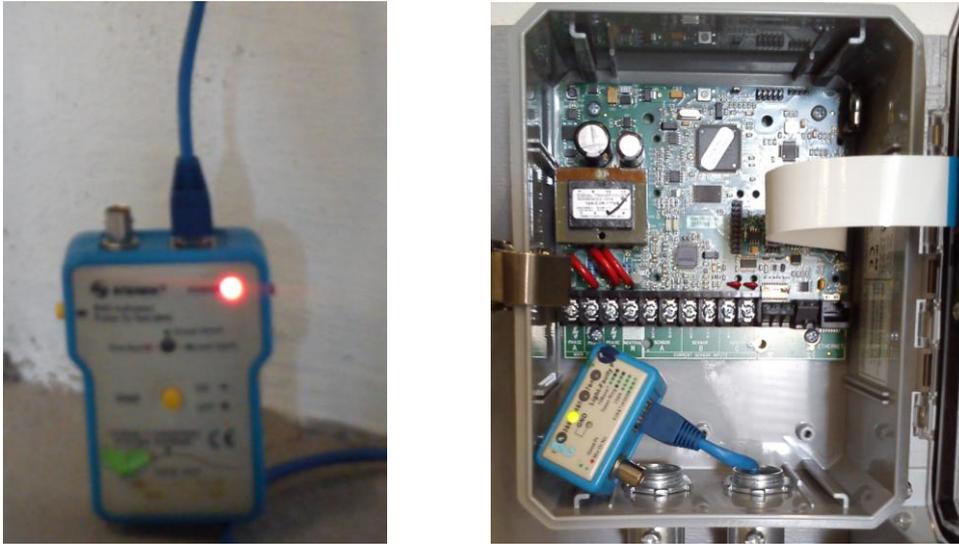


Fig.56 y 57 Probador de continuidad de cable de red.

De esta forma se concluyen los trabajos de conexión y pruebas de funcionamiento de los equipos, ya que el paso siguiente es realizar la configuración de los medidores. Esto se lleva a cabo conectando una computadora portátil, con un cable cruzado desde uno de sus puertos hasta el puerto disponible en el medidor principal donde llega el cable de red. En el momento en el que se hace la conexión de manera correcta un LED naranja ubicado en el interior del medidor, comienza a parpadear, indicando que hay comunicación entre la computadora y el medidor, de esta forma por medio de un programa que el proveedor de los medidores nos hace llegar, se configura tanto la dirección IP del medidor como la Máscara y Sub-máscara de este, para que pueda tener correcta comunicación de los datos censados.

Se procede posteriormente a comunicarse con el CORE de Wal-Mart, el cual es el departamento encargado de las redes de esta empresa, para de esta forma informarles de la conexión a la red de estos equipos de medición. Una vez confirmado el puerto de conexión y la correcta comunicación, se prosigue a contactarse con la empresa SEMHUNT encargada del manejo y administración de la red encargada de los medidores para que de esta forma teniendo una buena conexión ellos vean en tiempo real los valores de cada uno de los parámetros eléctricos que censa cada uno de los medidores. Para llevar a cabo

esto de manera correcta y como paso final se hacen pruebas de seguridad por parte de SEMHUNT, apagando cargas para ver la variación en tiempo real de las mediciones, esto se hace desconectando los equipos de refrigeración, de aire acondicionado o apagando parte de la iluminación de la tienda para que de esta forma ellos puedan observar esta variación y confirmen que los equipos están funcionando al 100%.

Es así como se concluyen los trabajos tanto de instalación, como de conexión y validación de equipos de sub-medición inteligente y a partir de ese momento solo resta llevar un control para poder administrar de manera correcta sus consumos eléctricos.

Actualmente este Vips se encuentra en la ciudad de México y los equipos de medición inteligente, están en operación al 100% y con un monitoreo en tiempo real de la energía eléctrica que consumen diariamente.

Como podemos observar, esta es una de las múltiples aplicaciones de la medición inteligente que actualmente se está utilizando en diferentes industrias pero con el mismo objetivo, como lo es, la optimización, administración y uso adecuado de la energía eléctrica.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

La medición inteligente es una herramienta que debe ser parte de todos los programas de ahorro y conservación de energía ya que es relativamente sencilla de implementar y el retorno de inversión está medido en meses. En la presente tesis, se logro ampliar de manera considerable, el panorama de conocimiento, acerca de las nuevas tecnologías que se están aplicando en diferentes ramos energéticos actualmente en México, particularmente las redes inteligentes y específicamente en la medición inteligente, tomando en cuenta las ventajas y desventajas en su uso cotidiano. Por otro lado también se logro entender la aplicación de estas tecnologías en aplicaciones eléctricas, que ayudan a la comodidad y beneficio del consumidor final, además de la considerable reducción de efectos que alteran de manera significativa al ecosistema a nivel mundial.

Por otro lado se logro ver el medidor inteligente, como medio de administración y herramienta en el control del consumo eléctrico, ya que al obtener datos en tiempo real y con mayor exactitud, tanto el consumidor, como el distribuidor de energía eléctrica, logran tener a la mano toda la información que se genera de los consumos eléctricos en la red a la cual se encuentra conectado y de esta manera reducir los costos y lograr una mayor eficiencia en la generación, distribución y consumo de la energía eléctrica.

Cabe mencionar que la instalación de medidores inteligentes, no es la única solución para un mejoramiento radical en las redes eléctricas, pero si es uno de los caminos para poder mejorar la eficiencia y sobre todo poder tener mejor control y participación activa entre distribuidor y consumidor y así de esta manera, dar los primeros pasos para la renovación del manejo en la energía eléctrica en México apoyado de la tecnología actual.

BIBLIOGRAFIA

[1] Becerril L., Diego Onésimo, *Instalaciones eléctricas prácticas*, 12^a edición, México D.F.

[2] ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto, *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas residenciales, industriales y comerciales basada en las normas técnicas para instalaciones eléctricas NOM-001-SE-1994 incluye NEC 1996*, 1^a reimpresión, Editorial Limusa, Noriega Editores, México D.F. 1999.

[3] NATIONAL ELECTRIC CODE 2005 (NEC) *National fire Protection Association*, inc., One Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02169-7471.

[4] RICHTER, Herbert P. y W Creighton Schwan, *Practical electrical wiring based on the 1984 National Electrical Code*, 13^a edición, Mc Graw-Hill Book Company, U.S.A., 1984.

[5] OROPEZA ANGELES, Javier, *Instalaciones Eléctricas Residenciales* 2^a edición, Schneider Electric México, S.A. de C.V. Mexico D.F, 2007.

[6]] JUAREZ, Ernesto, *ElectricQO, Smart Metering*, Schneider Electric Revista, México D.F., septiembre 2010.

[7] www.originenergy.com.au/4220/Smart-meters

[8] www.upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/9066/1/5025.pdf