



Riesgos Eléctricos y Mecánicos

Fernando Henao Robledo



ECOE
EDICIONES



Riesgos Eléctricos y Mecánicos

Fernando Henao Robledo

Henao Robledo, Fernando

Riesgos eléctricos y mecánicos / Fernando Henao Robledo

Bogotá : Ecoe Ediciones, 2008.

378 p. ; 24 cm.

ISBN 978-958-648-524-1

1. Seguridad industrial 2. Sector eléctrico - Medidas de seguridad 3. Trabajadores del sector eléctrico - Medidas de seguridad 4. Ingeniería mecánica - Medidas de seguridad 5. Prevención de accidentes I. Tit.

363.11 cd 21 ed.

A1171162

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Colección: Ingeniería

Área: Ingeniería y salud ocupacional

Edición preliminar: Bogotá, D.C., octubre de 2007

Primera edición: Bogotá, D.C., julio de 2008

Reimpresión: Bogotá, D.C., junio 2010

Reimpresión: Bogotá, D.C., 2011

ISBN: 978-958-648-524-1

© Fernando Henao Robledo

E-mail: fernandohenaoster@gmail.com

© Ecoe Ediciones

E-mail: correo@ecoeediciones.com

www.ecoeediciones.com

Carrera 19 No. 63C-32, Pbx. 2481449, fax. 3461741

Coordinación editorial: Alexander Acosta Quintero

Autoedición: Yolanda Madero T.

Carátula: Patricia Díaz

Impresión: Editorial Kimpres Ltda.

Calle 19 sur No. 69C-17, Tel. 4136884

Impreso y hecho en Colombia

*A mi esposa Luz Mary por el gran acompañamiento
durante todos estos años.*

*AGRADECIMIENTOS a mi amigo
FERNEY VALENCIA VANEGAS por su gran aporte
en la estructuración del documento
sobre riesgos eléctricos.*

Tabla de contenido

Introducción	1
Factor de riesgo eléctrico	4
Clasificación	4
Principales fuentes generadoras	4
Teoría electrónica	4
Electricidad	5
Tipos de electricidad	6
Usos	7
Conversión de corriente alterna en corriente continua	8
Polaridad	8
Corriente alterna	9
Historia	10
Corriente alterna vs. corriente continua	10
Las matemáticas y la corriente alterna sinusoidal	10
Diferencias entre corriente continua y alterna	16
Efectos de la electricidad en función de la resistencia del cuerpo	34
Efectos de la electricidad en función del tiempo de contacto	34
Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica	35
Principales peligros de la electricidad	41
Clasificación de los accidentes eléctricos	42
Frecuencia de los accidentes de origen eléctrico	45
Causas de los accidentes producidos por la energía eléctrica	46
Comportamiento en casos de accidentes eléctricos	48
Instalaciones eléctricas	50
Prevención de riesgo eléctrico	54
Las reglas de oro	54
Prevención de accidentes de origen eléctrico	56
Lugares de trabajos seguros	56

Ambientes seguros	57
Ropa y elementos de protección personal	58
Operación segura de los equipos	58
Enchufes eléctricos y cables de tensión	59
Escaleras	59
Normas básicas en trabajos con circuitos energizados	60
Puntos de contacto posible	67
Conceptos de fase, neutro a tierra	67
Aplicación práctica de principios de protección	71
A nivel del usuario doméstico	71
Protección en instalaciones industriales y de distribución de energía ..	72
Trabajos en instalaciones con riesgo de incendio o explosión	74
Trabajos en instalaciones de alta tensión	74
Trabajos en instalaciones de baja tensión	74
Trabajos en proximidad	75
Seguridad en redes aéreas desenergizadas	75
Seguridad en redes aéreas energizadas	76
Seguridad en cajas subterráneas	77
Trabajos de montaje y puesta en servicio de subestaciones, transformadores	78
Seguridad en subestaciones de distribución	78
Elementos de protección personal	79
Protección en instalaciones	79
Protecciones para evitar consecuencias	79
Trabajos en cámaras subterráneas	83
Riesgos inherentes al trabajo	85
Requerimientos básicos	85
Recomendaciones para realizar un trabajo seguro	86
Norma básica de seguridad riesgo eléctrico	86
Seguridad en el uso de herramientas eléctricas	87
Normas generales de seguridad	88
Electricidad estática	95
Riesgos	100
Peligro de las descargas electrostáticas en las superficies de los líquidos	101
Cargas electrostáticas de las personas	102
Medidas de prevención y protección frente al riesgo de la energía estática	103

Medidas de prevención	104
Control de atmósferas inflamables	104
Riesgos eléctricos en el hogar	105
Medidas correctivas y aplicables	106
Legislación colombiana	107
Factor riesgo mecánico	108
Introducción	108
Definición factor de riesgo mecánico	108
Herramientas manuales	109
Definición de algunas herramientas manuales	112
Principales riegos de las herramientas manuales	119
Principales defectos de las herramientas manuales	119
Control de riesgos	121
Recomendaciones específicas para algunas de las herramientas más comunes	127
Herramientas manuales mecanizadas	145
Herramientas manuales eléctricas	145
Herramientas manuales neumáticas	152
Equipos y elementos a presión	157
Operación y control	162
Normas básicas de seguridad	165
Criterios de diseño y normas de protección en recipientes a presión .	167
Reglas generales para el manejo	170
Reglas generales. Condiciones especiales	173
Manipulación de materiales	179
Introducción	179
Manipulación manual de materiales	180
Factores importantes en cuanto a las formas de manipulación de las cargas	181
Factores individuales en cuanto a las características físicas del trabajador	181
Los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo	200
Autovaloración	202
Resultados concretos	212
Verificación anatómica	213
Transporte de materiales	222

Transporte con ayudas mecánicas	223
Almacenamiento de materiales	226
Protección de maquinaria	246
Introducción	246
Peligros generados por las máquinas	249
Otros peligros originados por las máquinas	249
Legislación colombiana	361

INTRODUCCIÓN

El uso de la energía eléctrica, es hoy en día algo común, como el comer, caminar, respirar, etc. Hoy no se concibe una vida sin el uso de la electricidad. En todo el quehacer diario, en todas las actividades del ser humano participa activamente, la usamos y muchas veces abusamos, sin detenernos a pensar en los peligros que su uso conlleva.

El hombre a través del tiempo ha buscado mejorar sus condiciones de confort tanto en su vida cotidiana como el campo productivo, desarrollando para ello nuevas formas de energía, desde el vapor, pasando por el uso de combustibles en motores de combustión interna hasta llegar a la electricidad. Esta forma de energía limpia que no despidе gases ni humos, puede ser producida a grandes distancias del punto de utilización o consumo, con un fácil y barato transporte, con un alto rendimiento de transformación en otras formas de energía. Son muchas las ventajas que hacen hoy a la electricidad la forma de energía más utilizable en todo el mundo, pero como toda forma de energía debe ser tratada con respeto. Para su uso cómodo y de bajo costo, deben considerarse ciertas precauciones, de lo contrario, todas las bondades de este tipo de energía pasan a ser letra muerta frente a la magnitud de los siniestros y a la destrucción que también pueden ocasionar.

La utilización tanto industrial como residencial de la corriente eléctrica trajo consigo la aparición de un nuevo tipo de accidentes: los originados por el contacto accidental y aparatos bajo tensión eléctrica. Hasta entonces, prácticamente todos los accidentes de tipo eléctrico eran causados por el rayo, por consiguiente, no presentaban los aspectos característicos del accidente de trabajo; con la aparición de la corriente eléctrica la accidentalidad constituye un factor no despreciable del índice de mortalidad, siendo necesario implementar programas educativo preventivos, vigilancia y aplicación de normas que garanticen la óptima utilización de la corriente eléctrica y la minimización de la accidentalidad.

Por las razones ya expuestas, en el último tiempo se ha experimentado un gran adelanto en el control de la electricidad, tanto en su uso como en los riesgos que ella presenta y es así como hoy se pueden desarrollar complejas obras de ingeniería con una máxima seguridad y una eficiencia casi óptima. No obstante, los accidentes siguen existiendo, ya que aún está presente el riesgo en la utilización, operación y conservación o mantenimiento de dichas instalaciones, puesto que es precisamente aquí donde entra a jugar el factor humano. No debe olvidarse que al riesgo de accidente eléctrico no solamente están expuestos los profesionales y los trabajadores en general que han hecho del mantenimiento y diseño de instalaciones eléctricas su trabajo, sino también están los usuarios, dueños de casa, niños y personas en general, incluso el mismo instalador eléctrico acabada su jornada laboral, pasa a ser un usuario más de la energía eléctrica.

De aquí entonces la enorme responsabilidad que recae sobre el ingeniero, jefe o supervisor, operarios, el que proyecta, construye y debe efectuar la recepción de una instalación tanto en el sentido de no aceptar la existencia de ningún riesgo eléctrico que constituya una condición insegura, como así mismo preocuparse de que el personal adquiera las competencias necesarias para que no incurra en acciones inseguras atentando contra su seguridad, la de sus semejantes y las instalaciones propias y ajenas.

Con la divulgación de las diferentes medidas de prevención, se ha ido efectuando desde hace años, numerosas investigaciones y estudios fisiopatológicos y clínicos sobre las condiciones en que se producen las lesiones corporales, sus diversas modalidades y los tratamientos que se deben aplicar.

Muy pocas personas saben que la corriente eléctrica puede dar origen a accidentes mortales, sobre todo entre operarios que trabajan en el sector eléctrico, tienen la creencia de que 110 voltios no pueden causar ningún daño grave. Esta creencia se debe a que en su trabajo ya han recibido algunas descargas sin que el daño haya sido grave. Sin embargo, las estadísticas demuestran que se producen accidentes mortales por esta falsa apreciación. Esta idea proviene del desconocimiento de los efectos de la corriente en el cuerpo humano.

El hombre en su actividad cotidiana y en el desempeño de su actividad laboral debe estar libre de peligro, daño o riesgo como condición de bienestar y calidad de vida.

El uso de la energía eléctrica es un indicador de calidad de vida pero su empleo y manipulación implican riesgos tanto a nivel doméstico como laboral

que pueden ocasionar daños y pérdidas humanas, financieras y materiales, que pueden minimizarse con la aplicación de normas y procedimientos, conceptos de prevención y elementos de protección personal que con el debido cumplimiento y uso, garantiza lugares de trabajo y tránsito confiables y seguros.

La vivienda, el trabajo, servicios y la industria presentan niveles de riesgo variados, asociados con los procesos de generación, transmisión, distribución y empleo de la corriente eléctrica, que exigen estrategias educativas y entrenamiento orientados a reducir la probabilidad de ocurrencia de los accidentes y eventos indeseados.

Con el presente documento no se pretende establecer un manual de seguridad eléctrica, sino presentar las bases para que el personal que labora o que debe exponerse a este factor de riesgo pueda asumir en forma responsable su trabajo minimizando en cuanto sea posible los efectos que se puedan presentar. Para acciones de diseño, montaje y mantenimiento de redes o aparatos eléctricos siempre se debe recurrir a personal calificado.

En Colombia existe la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 o código eléctrico colombiano que debe ser consultado para acciones de mayor complejidad. El objeto fundamental de este reglamento es establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y de la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Estas prescripciones parten del cumplimiento de los requisitos civiles, mecánicos y de fabricación de equipos.

Establece las exigencias y especificaciones que garantizan la seguridad con base en el buen funcionamiento de las instalaciones, la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas. Igualmente, es un instrumento, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal o vegetal.
- La preservación del medio ambiente.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

FACTOR DE RIESGO ELÉCTRICO

Según la Guía Técnica Colombiana 45 GTC en factor de riesgo eléctrico se refiere a los sistemas eléctricos de las máquinas y los equipos que al entrar en contacto con las personas o las instalaciones y materiales pueden provocar lesiones a las personas y daños a la propiedad.

CLASIFICACIÓN

Corriente continua

Corriente alterna

Alta tensión

Baja tensión

Electricidad estática

PRINCIPALES FUENTES GENERADORAS

Instalaciones y mantenimiento eléctrico residencial e industrial, tableros de control y distribución; montaje, cableado de equipos de alta y baja potencia, montaje y mantenimiento de redes, sistemas de distribución eléctrico industrial y residencial, transmisores de energía, etc.

Teoría electrónica

El estudio de la electricidad está ligado a la constitución de la materia y todos los efectos de la electricidad pueden ser explicados y predecidos presumiendo la existencia de una diminuta partícula denominada electrón.

Esta teoría afirma que todos los efectos eléctricos obedecen al desplazamiento de electrones de un lugar a otro.

Si dividimos cualquier material en pequeñas partes, llegaremos a una parte mínima que aún tiene las mismas características del trozo original, a esta parte mínima se le llama molécula, pero aún esta parte está compuesta por una serie de sistemas llamados átomos, los que al igual que el sistema solar, están constituidos por un centro a cuyo alrededor giran una serie de partículas en órbitas claramente establecidas. Este centro llamado núcleo tiene neutrones y protones, estos últimos con carga eléctrica positiva. En cambio, alrededor del núcleo giran a gran velocidad pequeñas partículas llamadas electrones los que tienen carga eléctrica negativa. Estos electrones giran en órbitas definidas debido a una fuerza de atracción que ejerce el núcleo sobre estos; obviamente los electrones que más cerca del núcleo se encuentran, son atraídos con mayor fuerza, por lo que los electrones de la periferia son fáciles de "sacar" de sus órbitas.

Otra característica propia de los átomos es que en su estado natural y de equilibrio, son sistemas eléctricamente neutros, es decir, tienen igual número de protones (carga positiva) y de electrones (carga negativa). Por lo que al sacar un electrón de su órbita, ese átomo queda cargado positivamente o posee más protones que electrones. Ahora bien, si el "electrón libre" llega a otro átomo neutro, éste quedará cargado negativamente al tener más electrones que protones. De esta forma la corriente eléctrica no es más que el movimiento de electrones.

En la naturaleza existen elementos que tienen muchos electrones libres como el cobre, aluminio, plata y metales en general, al igual que existen otros que poseen sus electrones fuertemente unidos, tales como la madera seca, el vidrio, los plásticos, etc.

Los materiales conocidos como buenos conductores de la corriente eléctrica son los que poseen muchos electrones libres.

Ahora bien, para producir el movimiento de electrones a través del material, debe existir alguna presión que genere dicho movimiento, esta presión se conoce como voltaje, tensión o diferencia de potencial.

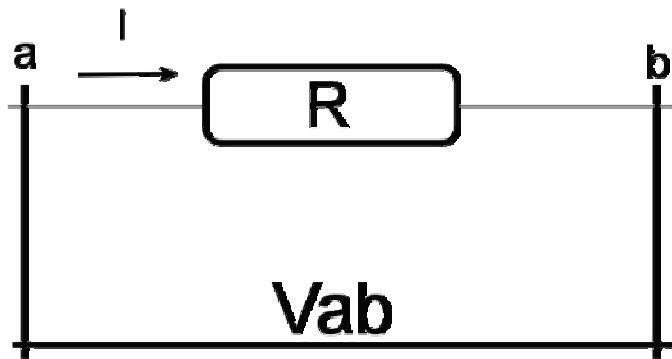
De lo anterior, aparece otro concepto, porque si bien se sabe que para producir el movimiento se necesita una presión, no es menos cierto que a todo movimiento siempre se le opone "algo" que trata de que se mantenga el reposo, llamado resistencia eléctrica, por lo tanto, aquellos materiales con electrones más ligados oponen una mayor resistencia al paso de la corriente, por lo que son utilizados como materiales aislantes.

Finalmente, si bien es cierto que el voltaje produce el movimiento y la resistencia eléctrica se opone a él, falta saber cuántos electrones son los que van a ser sacados de su "reposo" y vencer esta resistencia. Esta magnitud es la conocida como intensidad de corriente o corriente eléctrica, es decir, la cantidad de electrones que circulan por el material. Este tipo de electricidad es la más conocida, llamada también electricidad dinámica o en movimiento, pero no es el único tipo, ya que existe otra no muy conocida a la cual no se le ha dado la importancia necesaria, esta es la electricidad estática.

ELECTRICIDAD

Es un agente físico presente en todo tipo de materia que bajo ciertas condiciones especiales se manifiesta como una diferencia de potencial entre dos puntos de dicha materia. La electricidad es una forma de energía, es interacción

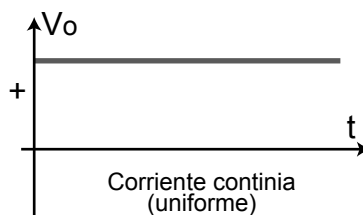
entre cargas positivas y negativas. La corriente eléctrica es la forma en la que la electricidad es más fácil de encontrar hoy día y difiere de la electricidad estática (producida por reacciones mutuas entre cargas en reposo, donde un cuerpo queda cargado con cargas positivas y el otro con cargas negativas) en que la carga eléctrica se halla en movimiento, las cargas se desplazan recorriendo un camino cerrado a través del cual es dirigida la corriente y recibe el nombre de circuito eléctrico.



Cuando la dirección del movimiento de las cargas que constituye corriente eléctrica es siempre la misma, recibe el nombre de corriente continua, en cambio, cuando su dirección cambia con cierta regularidad, se llama corriente alterna

TIPOS DE ELECTRICIDAD

Corriente continua: La tensión, intensidad de corriente y resistencia no varían.
Ejemplo: batería.



Representación de la tensión en corriente continua.

La **corriente continua** (CC en español, en inglés DC, de *Direct Current*) es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. A diferencia de la corriente alterna (CA en español, AC en inglés), en este caso, las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección del punto de mayor potencial al de menor potencial.

La corriente continua, es el resultado de el flujo de electrones (carga negativa) por un conductor (alambre de cobre casi siempre), que va del terminal negativo al terminal positivo de la batería (circula en una sola dirección), pasando por una carga. Un foco / bombillo en este caso.

La corriente continua no cambia su magnitud ni su dirección con el tiempo.

Para ser consecuentes con la convención existente, se toma a la corriente como positiva y ésta circula desde el terminal positivo al terminal negativo. Lo que sucede es que un electrón al avanzar por el conductor va dejando un espacio [hueco] positivo que a su vez es ocupado por otro electrón que deja otro espacio [hueco] y así sucesivamente, generando una serie de huecos que viajan en sentido opuesto de los electrones y que se puede entender como el sentido de la corriente positiva que se conoce.

No es equivocación, la corriente sale del terminal negativo y termina en el positivo. Lo que sucede es, que es un flujo de electrones que tienen carga negativa.

Aunque comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería), es importante aclarar que es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad.

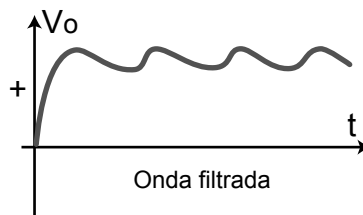
Usos

Su descubrimiento se remonta a la invención de la primera pila por parte del científico italiano Conde Alessandro Volta. No fue hasta los trabajos de Thomas Alva Edison sobre la generación de electricidad en las postrimerías del siglo XIX, cuando la corriente continua comenzó a emplearse para la transmisión de la energía eléctrica. Ya en el siglo XX este uso decayó en favor de la corriente alterna (propuesta por el inventor serbo-estadounidense Nikola Tesla, sobre cuyos desarrollos se construyó la primera central hidroeléctrica en las Cataratas del Niágara) por sus menores pérdidas en la transmisión a largas distancias. Hoy se utiliza todavía en la conexión de redes eléctricas de diferente frecuencia y en la transmisión a través de cables submarinos.

La corriente continua es empleada en infinidad de aplicaciones y aparatos de pequeño voltaje alimentados con baterías (algunas veces recargables) que suministran directamente dicha corriente, o bien con corriente alterna como es el caso, por ejemplo, de los computadores, siendo entonces necesario realizar previamente la conversión de la corriente alterna de alimentación en corriente continua.

También se está extendiendo el uso de generadores de corriente continua mediante células solares, dado el nulo impacto medioambiental del uso de la energía solar frente a las soluciones convencionales (combustible fósil y energía nuclear).

Conversión de corriente alterna en continua



Rectificación de la tensión en corriente continua.

Este proceso, denominado rectificación, se realiza mediante dispositivos llamados rectificadores, basados en el empleo de tubos de vacío y actualmente, de forma casi general, mediante diodos semiconductores o tiristores.

Polaridad

Generalmente los aparatos de corriente continua no suelen incorporar protecciones frente a un eventual cambio de polaridad, lo que puede acarrear daños irreversibles en el aparato. Para evitarlo, y dado que la causa del problema es la colocación inadecuada de las baterías, es común que los aparatos incorporen un diagrama que muestra la forma correcta; así mismo, los contactos se distinguen empleándose convencionalmente un muelle (resorte) metálico para el polo negativo y una placa para el polo positivo. En los aparatos con baterías recargables, el transformador-rectificador tiene una salida tal que la conexión con el aparato sólo puede hacerse de una manera, impidiendo así la inversión de la polaridad.

En los casos de instalaciones de gran envergadura, tipo centrales telefónicas y otros equipos de telecomunicación, donde existe una distribución centralizada de corriente continua para toda la sala de equipos, se emplean elementos de conexión y protección adecuados para evitar la conexión errónea de polaridad.

CORRIENTE ALTERNA: Tensión y corriente varían en forma periódica a lo largo del tiempo.

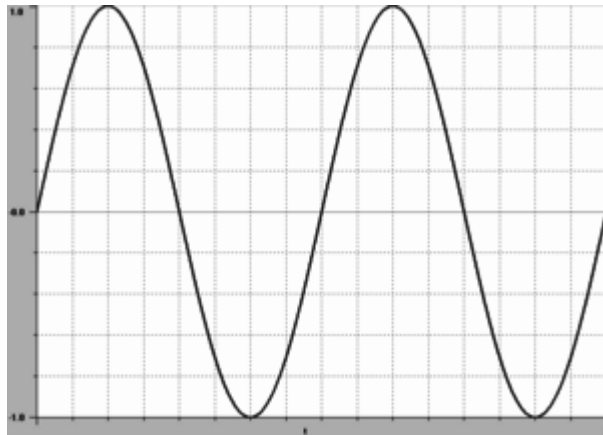


Figura 1: Onda sinusoidal.

Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente.

La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda sinusoidal (figura 1), puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía. Sin embargo, en ciertas aplicaciones se utilizan otras formas de onda periódicas, tales como la triangular o la cuadrada.

Utilizada genéricamente, la CA se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas. Sin embargo, las señales de audio y de radio transmitidas por los cables eléctricos, son también ejemplos de corriente alterna. En estos usos, el fin más importante suele ser la transmisión y recuperación de la información codificada (o modulada) sobre la señal de la CA.

Historia

A partir de los trabajos iniciales del físico Nikola Tesla, el también físico Guillermo Stanley, diseñó en 1885, uno de los primeros dispositivos prácticos para transferir la CA eficientemente entre dos circuitos eléctricamente aislados. Su idea fue la de enrollar un par de bobinas en una base de hierro común, denominada bobina de inducción. De este modo obtuvo lo que sería el precursor del actual transformador. El sistema usado hoy en día fue ideado fundamentalmente por Nikola Tesla, y pronto perfeccionado por George Westinghouse, Lucien Gaulard, Juan Gibbs y Oliver Shallengeter entre los años a 1881 a 1889. Estos sistemas superaron las limitaciones que aparecían al emplear la corriente continua (CC), según se pusieron de manifiesto en el sistema inicial de distribución comercial de la electricidad, utilizado por Thomas Edison.

La primera transmisión interurbana de la corriente alterna ocurrió en 1891, cerca de Telluride, Colorado, a la que siguió algunos meses más tarde otra en Alemania. A pesar de las notorias ventajas de la CA frente a la CC, Thomas Edison siguió abogando fuertemente por el uso de la corriente continua, de la que poseía numerosas patentes. Utilizando corriente alterna, Charles Proteus Steinmetz, de General Electric, pudo solucionar muchos de los problemas asociados a la producción y transmisión eléctrica.

Corriente alterna vs. continua

La razón del amplio uso de la corriente alterna viene determinada por su facilidad de transformación, cualidad de la que carece la corriente continua.

La energía eléctrica viene dada por el producto de la tensión, la intensidad y el tiempo. Dado que la sección de los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica depende de la intensidad, podemos, mediante un transformador, elevar el voltaje hasta altos valores (alta tensión). Con esto la misma energía puede ser distribuida a largas distancias con bajas intensidades de corriente y, por tanto, con bajas pérdidas por causa del efecto Joule. Una vez en el punto de utilización o en sus cercanías, el voltaje puede ser de nuevo reducido para su uso industrial o doméstico de forma cómoda y segura.

Las matemáticas y la corriente alterna sinusoidal

Algunos tipos de ondas periódicas tienen el inconveniente de no tener definida su expresión matemática, por lo que no se puede operar analíticamente con ellas. Por el contrario, la onda sinusoidal no tiene esta indeterminación matemática y presenta las siguientes ventajas:

- La función seno está perfectamente definida mediante su expresión analítica y gráfica. Mediante la teoría de los números complejos se analizan con suma facilidad los circuitos de alterna.
- Las ondas periódicas no sinusoidales se pueden descomponer en suma de una serie de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias que reciben el nombre de armónicos. Esto es una aplicación directa de las series de Fourier.
- Se pueden generar con facilidad y en magnitudes de valores elevados para facilitar el transporte de la energía eléctrica.
- Su transformación en otras ondas de distinta magnitud se consigue con facilidad mediante la utilización de transformadores.

Onda sinusoidal

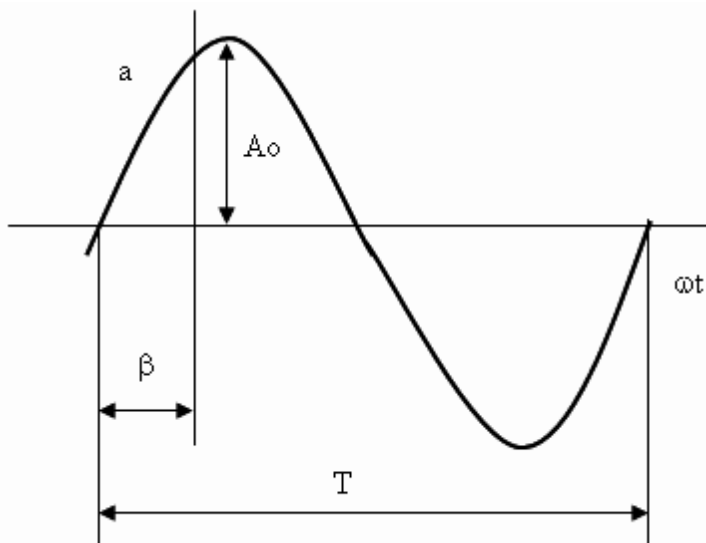


Figura 2: Parámetros característicos de una onda sinusoidal

Una señal sinusoidal $a(t)$ tensión, $v(t)$, o corriente $i(t)$, se puede expresar matemáticamente según sus parámetros característicos (figura 2), como una función del tiempo por medio de la siguiente ecuación:

$$a(t) = A_0 \cdot \sin(\omega t + \beta)$$

Donde

A_0 es la *amplitud* en voltios o amperios (también llamado *valor máximo o de pico*),

w la pulsación en radianes/segundo,

t el tiempo en segundos, y

β el ángulo de fase inicial en radianes.

Dado que la velocidad angular es más interesante para matemáticos que para ingenieros, la fórmula anterior se suele expresar como:

$$a(t) = A_0 \cdot \sin(2\pi ft + \beta)$$

Donde

f es la frecuencia en hercios (Hz) y equivale a la inversa del período ($f=1/T$). Los valores más empleados en la distribución son 50 Hz y 60 Hz.

Valores significativos

A continuación se indican otros valores significativos de una señal sinusoidal:

- **Valor instantáneo** ($a(t)$): Es el que toma la ordenada en un instante, t , determinado.
- **Valor pico a pico** (A_{pp}): Diferencia entre su pico o máximo positivo y su pico negativo. Dado que el valor máximo de $\text{sen}(x)$ es +1 y el valor mínimo es -1, una señal sinusoidal que oscila entre $+A_0$ y $-A_0$. El valor de pico a pico, escrito como $A_{p,p}$, es por lo tanto $(+A_0)-(-A_0) = 2 \times A_0$.
- **Valor medio** (A_{med}): Valor del área que forma con el eje de abscisas partido por su período. El área se considera positiva si está por encima del eje de abscisas y negativa si está por debajo. Como en una señal sinusoidal el semiciclo positivo es idéntico al negativo, su valor medio es nulo. Por eso el valor medio de una onda sinusoidal se refiere a un semiciclo. Mediante el cálculo integral se puede demostrar que su expresión es la siguiente:

$$A_{med} = \frac{2A_0}{\pi}$$

- **Valor eficaz** (A): Su importancia se debe a que este valor es el que produce el mismo efecto calorífico que su equivalente en corriente continua. Matemáticamente, el valor eficaz de una magnitud variable con el tiempo,

se define como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos alcanzados durante un período:

$$A = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2 dt}$$

En la literatura inglesa este valor se conoce como r.m.s. (*root mean square*, valor cuadrático medio). En la industria, el valor eficaz es de gran importancia ya que casi todas las operaciones con magnitudes energéticas se hacen con dicho valor. De ahí que por rapidez y claridad se represente con la letra mayúscula de la magnitud que se trate (I, V, P, etc.). Matemáticamente se demuestra que para una corriente alterna sinusoidal el valor eficaz viene dado por la expresión:

$$A = \frac{A_0}{\sqrt{2}}$$

El valor **A**, tensión o intensidad, es útil para calcular la potencia consumida por una carga. Así, si una tensión de corriente continua (CC), V_{CC} , desarrolla una cierta potencia P en una carga resistiva dada, una tensión de CA de V_{rms} desarrollará la misma potencia P en la misma carga si $V_{rms} = V_{CC}$.

Para ilustrar prácticamente los conceptos anteriores, consideremos, por ejemplo, la corriente alterna en la red eléctrica doméstica:

Cuando decimos que su valor es de 230 V CA, estamos diciendo que su *valor eficaz* (al menos nominalmente) es de 230 V, lo que significa que tiene los mismos efectos caloríficos que una tensión de 230 V de CC.

Su voltaje de pico (amplitud), se obtiene despejando de la ecuación antes reseñada:

$$V_0 = V_{rms} \times \sqrt{2}$$

Así, para nuestra red de 230 V CA, el *voltaje de pico* es de aproximadamente 325 V y de 650 V (el doble) el *voltaje de pico a pico*.

Su frecuencia es de 50 Hz, lo que equivale a decir que cada ciclo de la onda sinusoidal tarda 20 ms en repetirse. El voltaje de pico positivo se alcanza a los 5 ms de pasar la onda por cero (0 V) en su incremento, y 10 ms después se

alcanza el voltaje de pico negativo. Si se desea conocer, por ejemplo, el valor a los 3 ms de pasar por cero en su incremento, se empleará la función sinusoidal:

$$v(t) = V_0 \cdot \sin(2\pi ft) = 325 \sin(2\pi \cdot 50 \cdot 3 \cdot 10^{-3}) =$$

$$311 \sin(0,3\pi) \approx 262,9 \text{ V}$$

Representación fasorial

Una función sinusoidal puede ser representada por un vector giratorio (figura 3), al que se denomina **fasor** o **vector de Fresnel**, que tendrá las siguientes características:

- Girará con una velocidad angular ω .
- Su módulo será el valor máximo o el eficaz, según convenga.

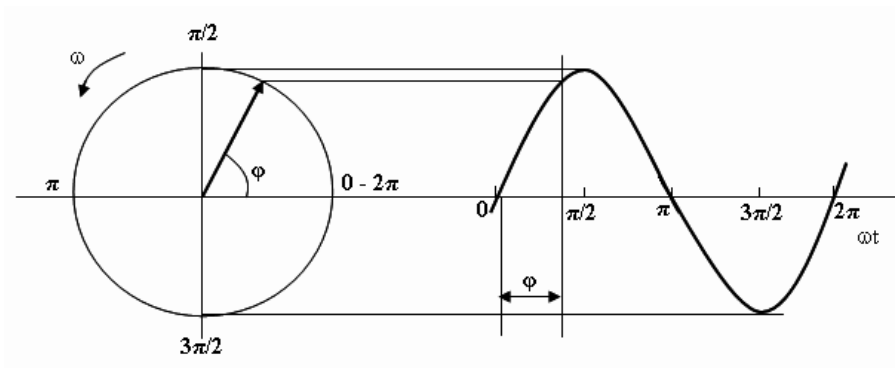


Figura 3: Representación fasorial de una onda sinusoidal

La razón de utilizar la representación fasorial está en la simplificación que ello supone. Matemáticamente, un fasor puede ser definido fácilmente por un número complejo, por lo que puede emplearse la teoría de cálculo de estos números para el análisis de sistemas de corriente alterna.

Consideremos, a modo de ejemplo, una tensión de CA cuyo valor instantáneo sea el siguiente:

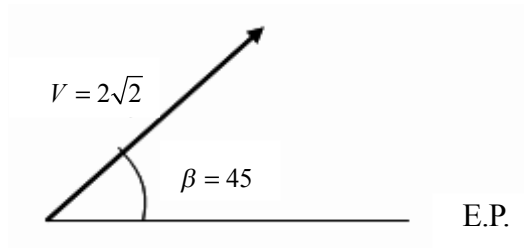


Figura 4: Ejemplo de fasor tensión (E. P.: eje polar).

$$v(t) = 4 \sin\left(1000t + \frac{\pi}{4}\right)$$

Tomando como módulo del fasor su valor eficaz, la representación gráfica de la anterior tensión será la que se puede observar en la figura 4, y se anotará:

$$\underline{V} = 2\sqrt{2}e^{\frac{\pi j}{4}} = 2\sqrt{2}/45j$$

denominadas formas polares, o bien:

$$\underline{V} = 2 + 2j$$

Denominada forma binómica.

Corriente trifásica

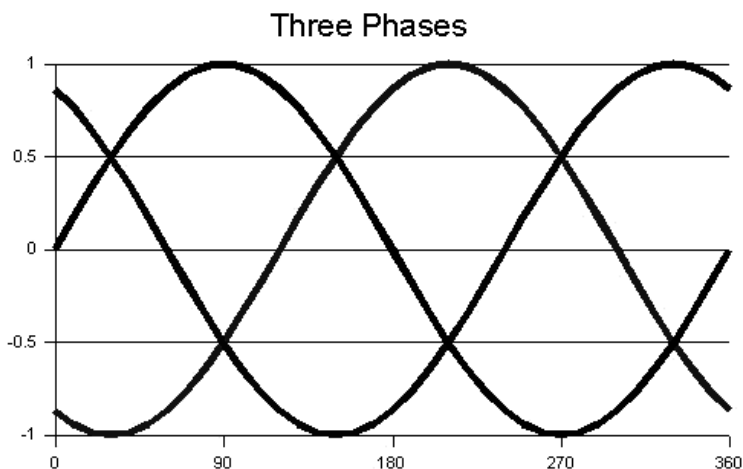


Figura 5: Distintas fases de una corriente trifásica.

La generación trifásica de energía eléctrica es la forma más común y la que provee un uso más eficiente de los conductores. La utilización de electricidad en forma trifásica es común mayoritariamente para uso en industrias donde muchas de las máquinas funcionan con motores para esta tensión.

La corriente trifásica está formada por un conjunto de tres formas de onda, desfasadas una respecto a la otra 120 grados, según el diagrama que se muestra en la figura 5.

Las corrientes trifásicas se generan mediante alternadores dotados de tres bobinas o grupos de bobinas, arrolladas sobre tres sistemas de piezas polares equidistantes entre sí. El retorno de cada uno de estos circuitos o fases se acopla en un punto, denominado neutro, donde la suma de las tres corrientes es cero, con lo cual el transporte puede ser efectuado usando solamente tres cables.

El sistema trifásico es un tipo dentro de los sistemas polifásicos de generación eléctrica, aunque con mucho el más utilizado.

Corriente alterna monofásica: 220V; 50 Hz.

Corriente alterna trifásica: 380V; 50 Hz.

DIFERENCIAS ENTRE CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA

La corriente continua (CC o DC) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

Por convenio, se toma como corriente eléctrica al flujo de cargas positivas, como consecuencia del flujo de electrones, por tanto el sentido de la corriente eléctrica es del polo positivo de la fuente al polo negativo y contrario al flujo de electrones y siempre tiene el mismo signo.

La corriente continua se caracteriza por su tensión, porque, al tener un flujo de electrones prefijado pero continuo en el tiempo, proporciona un valor fijo de ésta (de signo continuo), en la gráfica V-t (tensión tiempo) se representa como una línea recta de valor V.