

L. CAYUPE

FERROCARRILES NACIONALES DE MEXICO

INSTITUTO DE CAPACITACION
DIRECCION ADIESTRAMIENTO DIESEL

DESARROLLO DEL CURSO DE
ELECTRICIDAD DIESEL

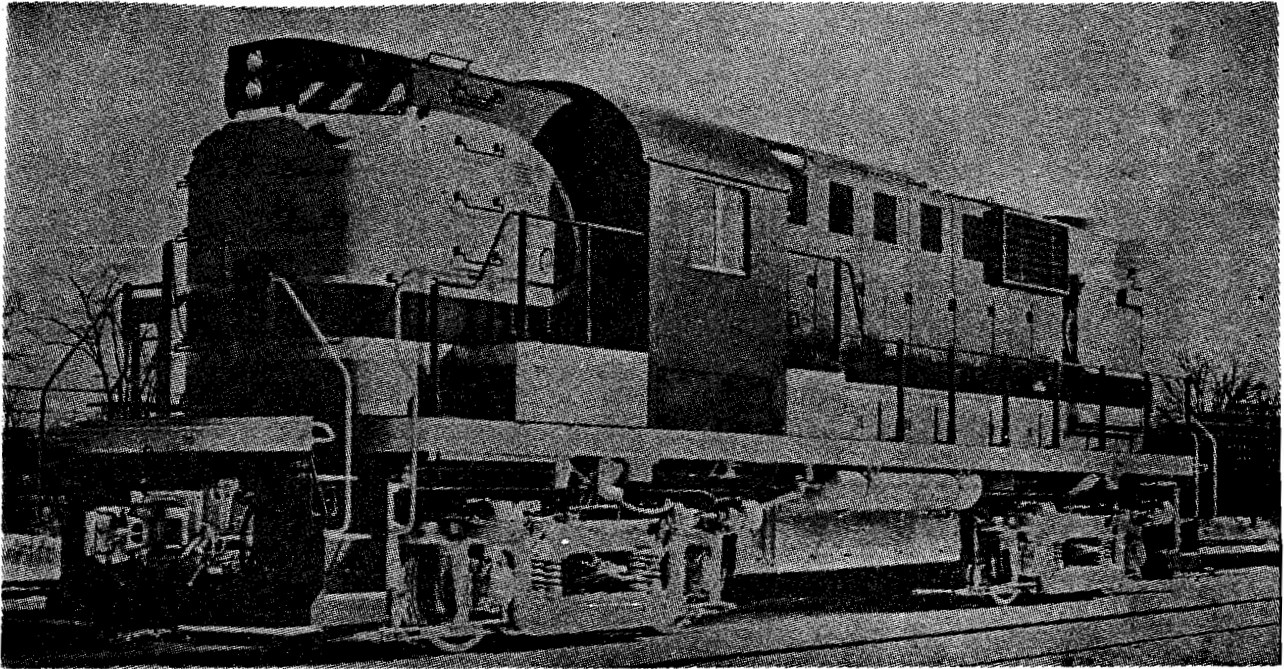
4a. EDICION REVISADA EN 1963

Por:

ALBERTO CARDENAS BUSTAMANTE

FERROCARRILES NACIONALES DE MEXICO

INSTITUTO DE CAPACITACION



**DESARROLLO DEL CURSO DE
ELECTRICIDAD DIESEL**

Por:

ALBERTO CARDENAS BUSTAMANTE.

1963

ANTECEDENTES

Hace unos años el número de locomotoras Diesel de los Nacionales de México era reducido, por lo que su conservación no implicaba un gran problema. Actualmente el aumento sucesivo de unidades, y la edad promedio del conjunto, hace indispensable una conservación perfectamente organizada, que cuente con una mano de obra especializada, ya que de lo contrario la nueva técnica de la tracción en lugar de producir beneficios podría provocar pérdidas cuantiosísimas.

Las 600 locomotoras que pronto se tendrán en inventario, exigen la operación de grandes talleres de reparación y conservación, así como una gran cantidad de personal capacitado. Para completar las horas-hombre requeridas, se ha transferido a mucho personal de los antiguos talleres de vapor, a los nuevos talleres Diesel en Divisiones completamente dieselizadas. Esto requiere la adaptación rápida de los trabajadores a la técnica Diesel por medio de una capacitación intensiva adecuada.

Los actuales cursos Diesel pretenden lograr lo anterior mediante programas especializados: para Mecánicos de Locomotoras; para Electricistas de Locomotoras; para Mecánicos de Limpieza y Rehabilitación de Parte mecánicas, y para Electricistas de limpieza y Rehabilitación de partes eléctricas.

Los programas son esencialmente prácticos, tanto en su desarrollo en aulas como en los ejercicios del taller de la escuela. La profundidad y extensión con la que se aborda cada tema está limitada a lo indispensable, reduciendo al mínimo los puntos teóricos y los detalles de diseño que en rigor pertenecen a etapas superiores de ésta técnica Diesel. En cambio se describe con detalle los nuevos equipos que los operarios tendrán a su cuidado, se dan las normas para la conservación preventiva o las reparaciones pesadas, se explican y muestran los procedimientos específicos de trabajo con el auxilio de herramientas y dispositivos adecuados. En suma se trata de lograr por medio de cursos muy breves, encauzar a los trabajadores de la mejor manera posible en sus nuevas actividades de conservación y reparación de locomotoras Diesel, dejando que la práctica en este nuevo oficio siga madurando la formación de los trabajadores, una vez que éstos han sido debidamente iniciados por la Escuela Diesel.

Para completar la formación de los trabajadores, se han iniciado desde el Año de 1961, los cursos básicos de Mecánica y Electricidad Diesel en la Escuela de San Luis Potosí, S. L. P.

INTRODUCCION

Con objeto de cuidar de las Locomotoras Diesel y obtener así un mejor rendimiento económico, al alargar su vida, ya que tienen tan alto costo de adquisición, la Gerencia General de los Ferrocarriles Nacionales de México, a través del Instituto de Capacitación ha puesto a funcionar las Escuelas Diesel, en las que imparte la enseñanza elemental y fundamental en cada una de las ramas de Mecánica y Electricidad Diesel, a fin de hacer llegar al personal ferroviario en una forma objetiva y práctica los conocimientos que les hacen falta, sobre las locomotoras Diesel, teniendo en cuenta que este nuevo equipo de tracción requiere cuidados como los que se dan a una máquina de precisión.

Una buena conservación permitirá que los costos de operación sean normales, reduciéndose al mínimo el uso de refacciones y materiales diversos.

Estamos seguros de que el personal sabrá comprender la necesidad de prepararse bien para esta técnica, poniendo todo lo que esté de su parte para estudiar y entender el funcionamiento de las nuevas locomotoras; sobre todo si tiene en cuenta los beneficios personales que de este conocimiento pueden reportarse.

Probablemente muchos de ustedes tengan ya conocimientos acerca del equipo Diesel; a estos elementos les rogamos un poco de paciencia mientras el grupo en general se pone a su altura, esto a la postre redundará en un mejor aprovechamiento de todos. El entusiasmo y la aplicación que se demuestran para compenetrarse en la práctica y la teoría que vamos a exponer, les asegurará el máximo de aprovechamiento, teniendo en cuenta los excelentes medios que la Empresa nos proporciona en el edificio y en las instalaciones de las Escuelas Diesel.

SESION 1

CDE 1.1. El Desarrollo de la Locomotora Diesel Eléctrica.

En los últimos años del siglo pasado cuando el motor de gasolina estaba en su apogeo, se llegó a saber que operándolo a mayor compresión trabajaba más eficientemente. Pero al mismo tiempo el combustible usado en motores que tuvieran una relación de compresión mayor que 6 a 1, causaban pre-ignición o detonación antes de que se pudiera obtener cualquier trabajo útil dentro del cilindro.

Durante el año de 1890 el Dr. Rudolph Diesel explorando teorías expuestas por los principales científicos de la época, produjo un motor para operar a alta compresión sin un sistema de ignición, inyectando el combustible en la masa de aire previamente comprimida en el cilindro.

El primero de estos motores construidos por el Dr. Diesel explotó, causando serias heridas a su inventor. Este motor operaba con relaciones de compresión de 12 a 1.

El motor Diesel tiene como principal diferencia con el de gasolina, la eliminación del sistema de ignición y el uso en su lugar del calor producido por la alta compresión para encender el combustible.

Las presiones tan elevadas con que operan los órganos en que se producen las explosiones, 600 a 700 libras por pulgada cuadrada, obligan a que el motor Diesel sea más robusto que el de gasolina ya que este trae aparejado mayores esfuerzos y gran desarrollo de calor. Por mucho tiempo se creyó necesario construir los motores Diesel grandes y pesados y debido a esa causa en un principio tuvieron poca aceptación y uso, pero con el descubrimiento de nuevos metales y aleaciones metálicas de alta resistencia, pudieron construirse motores menos pesados y al mismo tiempo más potentes.

Desde el principio del presente siglo muchos Ferrocarriles, particularmente el Unión Pacific, estuvieron experimentando con autovías usando motores de gasolina y en algunos casos motores Diesel ligeros como fuente de energía; sin embargo, las transmisiones mecánicas e hidráulicas usadas no permitían la transmisión de la potencia requerida.

"La Primera Locomotora Diesel-Eléctrica"

En el año de 1924, tres compañías norteamericanas, la Ingersoll-Rand, la General Electric y la ALCO, se unieron para explorar las posibilidades de el motor Diesel, construyendo una locomotora de patio para operar en el Ferrocarril Central de Nueva Jersey. Su prueba resultó muy satisfactoria, especialmente cuando estuvo trabajando lejos de los puntos de abastecimiento y servicio por largos períodos. Esta locomotora fue puesta en servicio regular en 1925, tenía 300 H.P. de potencia. Finalmente, en 1927, la ALCO y la G. E. construyeron el prototipo de las locomotoras de patio, similar a las actuales, con una potencia de 600 H.P.

"La Primera Locomotora Diesel-Eléctrica de Camino"

Esta fue puesta en operación en 1940 por la Electro-Motive División de la General Motors Co. Era una locomotora de 4 unidades con una potencia de 5400 H.P., que fue seguida rápidamente por una de 4000 H.P., 2 unidades para carga y pasajeros construida por ALCO-GE para usarse en el Ferrocarril New Haven. Las locomotoras Diesel-Eléctricas empezaron así a realizar toda clase de servicios en los Ferrocarriles.

Desde 1938 todos los Ferrocarriles de la clase "A" de la Unión Americana, han estado comprando solamente locomotoras Diesel para servicio de patio. Su capacidad para desarrollar su máxima potencia a baja velocidad para trabajar por algunos días en patios lejanos con poco o ningún servicio; más la ventaja de que el combustible que se les suministra es suficiente para 3 ó 4 días de operación, establecieron a esa locomotora como ideal para los servicios de patio.

Fue natural que el éxito de la locomotora Diesel de Patio tuviera repercusión en los servicios de camino. En 1937 el Ferrocarril Birmingham se dieselizó completamente con locomotoras de 900 H.P., equipadas para operación en múltiple, este fue el primer Ferrocarril; en los Estados Unidos, que hizo un completo cambio de vapor a Diesel en sus funciones con resultados muy satisfactorios.

Durante este período de desarrollo muchos cambios fueron hechos constantemente, en el arreglo general, en los controles, en el equipo eléctrico, estilo de la cabina y cuerpo de la locomotora.

Fueron introducidos modelos aerodinámicos y el bastidor alargado para dar cabida a dos motores y poder satisfacer así la alta demanda de potencia que el servicio de camino requiere.

Las relaciones de engranes fueron diseñadas para poder alcanzar las altas velocidades necesarias en el servicio de pasajeros. La combinación más grande de potencia puesta en servicio regular fue el de una locomotora de cuatro unidades con 8000 H.P., fabricada por la Fairbanks Morse.

El control de unidades en múltiple da extremada flexibilidad a las locomotoras de camino y permite usarlas en las combinaciones apropiadas para el tipo de servicio que se necesita.

El desplazamiento de las locomotoras de vapor por las Diesel-Eléctricas, se debe a las grandes ventajas económicas que su uso reporta, habiéndose salvado con la dieselización empresas ferrocarrileras que ya estaban al borde del fracaso.

A primera vista se tiene la impresión de que el uso de la locomotora de vapor es más ventajosa; pero de estas, lo único que es más barato es el gasto inicial o sea el precio de la locomotora, su conservación muy simple; pero su rendimiento es muy pobre y su operación tiene tantos inconvenientes que al final resulta antieconómica.

En los cuatro tipos fundamentales de locomotoras Diesel-Eléctricas que existen: Locomotoras de Patio, Patio-Camino, Carga y Pasajeros y Locomotoras para Servicio de Pasajeros, (de estas últimas no tenemos), vamos a establecer una comparación con las de vapor para ver las ventajas y desventajas.

VENTAJAS DE LAS LOCOMOTORAS DE CAMINO DIESEL - ELECTRICAS SOBRE LAS LOCOMOTORAS DE CAMINO DE VAPOR

La locomotora de vapor está siendo desplazada muy rápidamente por la Diesel-Eléctrica, principalmente debido a que es más simple en su operación y su mantenimiento y por su alta disponibilidad. Estas consideraciones se reafirman por las razones que enseguida se puntualizan comparándola con locomotoras de vapor de potencia semejante.

1º—El consumo de combustible del motor Diesel es muy inferior al que se requiere para obtener la misma potencia con los motores de vapor, es decir, el combustible para calderas se requiere en mayor cantidad siendo almacenado en los tónders de las locomotoras de vapor.

La relación promedio del consumo de combustible en todas las condiciones de servicio es aproximadamente en volumen de 1 a 20. Esto nos demuestra el porqué las locomotoras de vapor de gran potencia requieren tónders de gran capacidad y a la vez la instalación de más frecuentes fuentes de abastecimiento de petróleo que ineludiblemente requieren tanques, bombas y calderas, cuando las zonas son frías para poder calentar ligeramente el petróleo y facilitar su bombeo.

El abastecimiento de cada instalación de tanques de petróleo resulta muy costoso por el transporte del combustible representando su atención un costo elevado de operación y conservación. En cambio, las locomotoras Diesel-Eléctricas generalmente llevan en su propia estructura, un tanque de combustible con capacidad mínima para abastecerse durante 8 horas de trabajo continuo. No nos referimos a la locomotora de vapor que quema carbón, debido a que es aún más desfavorable en su mantenimiento y operación.

2º—El consumo de agua para el enfriamiento del motor Diesel, en una locomotora Diesel-Eléctrica es prácticamente nulo durante 8 horas de servicio continuo, no así en una locomotora de vapor, ya que

éstas requieren un consumo de agua de alimentación de la caldera de 15 Kgs. por H.P.-hora, consumo que obliga a que se hagan instalaciones de abastecimiento cada 20 ó 30 kilómetros a lo largo de las líneas férreas que recorren; además de que los tónders para locomotora de vapor de gran potencia tienen que ser de gran capacidad. Este sistema de abastecimiento de agua para las locomotoras de vapor, exige instalación de bombas y tanques elevados que son costosas inicialmente y además requieren un mantenimiento caro y delicado, ya que en la mayoría de los casos es necesario tratar el agua para quitarle la dureza que perjudica grandemente a las calderas. Una locomotora Diesel-Eléctrica que tenga caldera de calefacción requiere el suministro de agua en pequeña cantidad; de ninguna manera comparable con la que necesita la locomotora de vapor. Esto hace posible el empleo de locomotoras Diesel-Eléctricas en zonas desérticas donde el agua es muy escasa.

3º—En una locomotora Diesel-Eléctrica generalmente todas las ruedas de los trucks son motrices, no así en una de vapor, que forzosamente necesita carretillas para repartir el peso total de la máquina, ya que no es posible concentrarlo exclusivamente sobre las motrices. El peso que no se aprovecha en las motrices de la locomotora de vapor y el inseparable *peso del tónder*, es lo que podemos llamar peso muerto de una locomotora de vapor, el cual es arrastrado durante toda la vida de la misma, representando un costo fijo de operación que no tiene la Diesel-Eléctrica.

4º—La disponibilidad de la locomotora Diesel-Eléctrica es muy grande ya que requiere abastecimiento de combustible cada 8 ó 12 horas de servicio continuo y además porque dentro de ese tiempo la lubricación es automática y adecuada. El abastecimiento de agua en locomotoras Diesel-Eléctricas se puede hacer durante el tiempo necesario para cargar combustible. Las locomotoras de camino Diesel-Eléctricas tienen un radio de acción de más de 4000 kilómetros, distancia que recorren sin recibir atención en ningún taller de reparación, ya que si su mantenimiento, lubricación o inspección se hace en forma sistematizada, se podrán recorrer grandes distancias con la seguridad de un buen funcionamiento.

5º—Con locomotoras Diesel-Eléctricas la aceleración de un tren es rápida y uniforme debido a la característica de los motores de tracción con excitación en serie, que a baja velocidad, dan un par motor sumamente elevado, redundando en una gran fuerza de tracción inicial.

6º—En todo momento y a cualquier velocidad se puede aprovechar totalmente la potencia del motor Diesel, por la combinación de todas las características técnicas tanto del motor Diesel, generador principal, generador de excitación como de los motores de tracción y el resto de los controles.

7º—La transmisión eléctrica, en lugar del mecanismo de biela manivela, permite el desarrollo de grandes velocidades debido a que las masas de todos los elementos componentes, incluyendo los motores de los trucks, están compensados y no producen martilleo con el movimiento. Por lo anterior y por el peso bien repartido sobre las motrices, se conservan mejor las vías.

8º—El freno dinámico indudablemente es una gran ventaja de la locomotora Diesel-Eléctrica sobre la de vapor, ya que este freno evita el empleo del freno de aire cuando el tren va en bajada, evitando así el desgaste de ruedas y zapatas, bronce y accesorios de frenos, principalmente en los carros de carga.

9º—En la locomotora Diesel-Eléctrica resulta muy ventajosa la posición delantera de la cabina y controles de operación. Esto da una mayor visibilidad al maquinista; evitando accidentes en el camino, en los momentos más críticos; además, los controles de operación están más accesibles y la observación de los instrumentos indicadores resulta más fácil. La operación de la locomotora indudablemente es muy sencilla y se hace con gran comodidad.

10º—La operación en múltiple consiste en emplear un solo maquinista para operar generalmente hasta 4 unidades acopladas, desde una sola cabina de control. Esto representa una gran ventaja sobre la locomotora de vapor, pues 4 unidades de vapor operarían como ayudadoras, ya que no es posible controlarlas con un solo maquinista; es decir, cada locomotora de vapor necesita su propio maquinista.

11º—El rendimiento de la Locomotora Diesel-Eléctrica es prácticamente constante en todas las épocas del año y a cualquier altura sobre el nivel del mar, cuando los motores de la locomotora están provistos de turbosupercargadores. En estos casos, la turbina que mueve al turbocargador aprovecha la energía de los gases de escape.

12º—El mantenimiento en terminal así como las reparaciones después de determinados recorridos es más simple, rápida y limpia, no requiriendo grandes instalaciones de plantas de agua y combustible ni grandes talleres costosos.

13º—Dentro del aspecto de Análisis Técnico de la Fuerza Tractiva, es más fácil determinar el aprovechamiento de la locomotora Diesel, en perfiles diferentes de la línea, debido a que la potencia del motor Diesel se mantiene constante según se puede ver en el diagrama de Fuerza Tractiva-Velocidad, lo cual redundo en el fácil estudio del aprovechamiento de la locomotora Diesel-Eléctrica.

14º—La Locomotora Diesel-Eléctrica es más ligera que la locomotora de Vapor con tender, es decir, el arrastre propio de la Diesel-Eléctrica cuesta menos dinero y además es más segura para altas velocidades por ser de menor masa, en lo que respecta a los efectos dinámicos que se ocasionan en la vía.

VENTAJAS DE LAS LOCOMOTORAS DE CAMINO DE "VAPOR" SOBRE LAS LOCOMOTORAS DE CAMINO "DIESEL-ELECTRICAS"

La locomotora de vapor, que ha servido durante tantos años en los ferrocarriles tiene grandes ventajas sobre la Diesel-Eléctrica, no obstante lo estipulado en el capítulo anterior. Las principales son las siguientes:

1º—El funcionamiento y características de la Locomotora de Vapor es más accesible para el personal ferrocarrilero, porque requiere conocimientos más elementales para su comprensión, no así la locomotora Diesel-Eléctrica, *que necesita personal mejor preparado con conocimientos teóricos elementales de Mecánica y Electricidad.*

2º—Existiendo instalaciones para suministro de agua y combustible que garanticen una buena operación de la Locomotora de Vapor, la economía resulta digna de ser estudiada y compararla con la de la Diesel-Eléctrica.

3º—El personal de operación y mantenimiento de Locomotoras Diesel-Eléctricas necesita estar bien preparado para que cumpla correctamente con su trabajo.

4º—El costo de las reparaciones en las Locomotoras de Vapor resulta más bajo, sin tener en cuenta la amortización de las Instalaciones y Talleres.

5º—La inversión necesaria para adquirir una locomotora de Vapor es relativamente menor que la necesaria para comprar una Locomotora Diesel-Eléctrica. Por tal motivo, el interés sobre el Capital, la Amortización, Impuestos y Seguros, es mayor actualmente.

6º—Se requiere menor inversión para mantener la existencia en el almacén de las refacciones necesarias para asegurar un servicio adecuado.

7º—En síntesis, la Locomotora de Vapor independiza a los Ferrocarrileros, ya que, en la mayoría de los casos, en los talleres propios de los ferrocarriles, se fabrican gran parte de las refacciones por ser simples, no así los materiales necesarios que se pueden obtener sin dificultad en diferentes compañías.

No obstante las ventajas enunciadas anteriormente, la Locomotora de Vapor está siendo desplazada porque la Diesel-Eléctrica asegura un mejor servicio a menor costo de Operación y Mantenimiento. Los principales puntos de análisis son fundamentalmente los costos anuales de: 1º—Combustible; 2º—Agua; 3º—Lubricantes; 4º—Accesorios varios; 5º—Mantenimiento en Terminal; 6º—Salarios de Tripulaciones; 7º—Reparaciones; 8º—Interés sobre Capital invertido; 9º—Amortización y 10º—Impuestos y Seguros; costos que deben pesar sobre un conjunto de Locomotoras de la Línea que se analiza.

SESION 2

CDE 1.2. Descripción General de la Locomotora Diesel-Eléctrica

La locomotora Diesel-Eléctrica, como unidad de fuerza motriz, se puede considerar propiamente como una locomotora eléctrica, que genera la corriente necesaria para su funcionamiento. Consta de un motor Diesel acoplado directamente a un generador de corriente eléctrica, pasando dicha corriente a los motores de tracción, los cuales producen finalmente el movimiento de la locomotora. Este es, en su forma más elemental, el principio del funcionamiento de la Locomotora Diesel-Eléctrica.

El motor Diesel es una máquina de combustión interna, que se le llama de combustión lenta, progresiva o a presión constante. En lo que se refiere a número de carreras completas en que se verifica el ciclo de trabajo, puede ser de dos o de cuatro tiempos. Las transformaciones que tienen lugar en cada ciclo de trabajo del motor Diesel son: admisión de aire, compresión de éste e inyección del combustible; expansión de la mezcla al quemarse y escape de los productos quemados. En cuanto a los cilindros, siempre son policilíndricos por lo que respecta a su número; en lo que se refiere a la posición del eje, generalmente son verticales y en línea o en "V"; casi siempre son de simple efecto.

Existe un motor de émbolos opuestos, que es el motor Diesel de las locomotoras Diesel-Eléctricas marca "Fairbanks-Morse", de manufactura norteamericana. La potencia de los motores Diesel para locomotora, fluctúa entre 150 H.P. (locomotoras industriales) hasta 2500 H.P. por unidad. Naturalmente que se pueden operar varias unidades en múltiple, y por tanto la potencia del conjunto motriz aumenta.

El generador de corriente eléctrica empleado en las locomotoras Diesel-Eléctricas, es un generador de corriente continua, ya que para la tracción eléctrica, los motores que mueven las ruedas son de corriente continua por razones que veremos con detenimiento al estudiar la parte eléctrica de dichas locomotoras.

Estas locomotoras cuentan, además, con un sistema de baterías que sirven para poner en marcha el motor Diesel. Las baterías hacen trabajar al generador principal como motor, ya que recibe energía eléctrica y la transforma en mecánica. Al moverse pues, el generador que ahora trabaja como motor, mueve al motor Diesel hasta que éste se enciende y comienza a trabajar por sí solo. Entonces se desconectan las baterías del generador y éste ya empieza a trabajar como tal, tan pronto como se excitan sus campos, al ser movido por el motor Diesel que ya está funcionando. El generador comienza así a producir electricidad para los motores de tracción. El motor de tracción hace girar el eje de las ruedas motrices por medio de engranes, llevando un piñón en un extremo de su flecha, el cual conecta con un engrane que va montado sobre el eje en el que van las ruedas motrices.

Una vez puesto en marcha el motor Diesel, por medio del regulador operado por el maquinista, se le va suministrando combustible de tal manera que vaya aumentando su potencia. Esta, desde luego, depende del número de revoluciones por minuto del motor y del par desarrollado pues la potencia nominal del motor está dada de acuerdo con estas dos características. A mayor velocidad mayor potencia, pero la velocidad está limitada por un gobernador que lleva el motor mismo.

Generador Auxiliar. Este generador es de corriente continua a bajo voltaje; sirve para cargar las baterías y alimentar los circuitos de control a bajo voltaje de la locomotora.

Ventiladores de los Motores de Tracción. Sirven para proporcionar el aire de enfriamiento a los motores de tracción en todas las locomotoras.

Ventiladores de Enfriamiento de Radiadores. Sirven para proporcionar el aire para enfriar el agua del motor Diesel.

Bomba de Combustible. Esta bomba es del tipo de engranes, sirve para abastecer el combustible al motor Diesel; la mueve un motor eléctrico de corriente continua.

El funcionamiento de la locomotora se controla totalmente por medio de 3 palancas y 2 manijas, las tres palancas son: palanca del regulador, palanca del inversor y palanca selectora o de transiciones; montadas en el pedestal de control. Las manijas, una para la válvula del freno independiente y otra para la válvula automática.

Palanca del Regulador. Esta palanca controla la velocidad del Motor Diesel.

Palanca de Inversión. Esta palanca tiene 3 posiciones que son: Adelante, Neutral y Atrás. Sirve para controlar la dirección de marcha de la locomotora.

Palanca de Tracción y Freno Dinámico. (En las Locomotoras que lo Traen). Sirve para controlar las conexiones de los motores de tracción y el freno dinámico.

Esto es en general, la descripción general de una Locomotora Diesel-Eléctrica.

SESIÓN 3

CDE 1.3. Características Distintivas de las Diferentes Locomotoras Diesel-Eléctricas

Hay tantos tipos de locomotoras Diesel-Eléctricas como las necesidades del servicio lo requiere; así se tienen las locomotoras de patio, de patio-camino, de camino para trenes de carga y de camino para trenes de pasajeros.

En las locomotoras de camino se tienen unidades A y B; las unidades A son las que tienen cabina y controles de mando, por lo que se usan generalmente como unidades guías; las unidades B no tienen cabina ni controles de mando y solo se usan como ayudadoras, acoplándolas a las unidades A.

En la operación en múltiple hay diversas combinaciones, a una unidad A pueden acoplarse hasta 3 unidades B formando una locomotora de 4 unidades. También pueden acoplarse 2 unidades A operando con un puesto de mando.

Del mismo modo se pueden acoplar 1 unidad A, 2 unidades B, y finalmente otra unidad A, manejándose la locomotora desde cualquiera de las unidades A.

Las locomotoras de patio-camino también están acondicionadas para operación en múltiple.

Las locomotoras de camino para trenes de carga y trenes de pasajeros son iguales, pero las unidades para trenes de pasajeros están equipadas con un generador de vapor para la calefacción de los coches y desarrolla menos fuerza tractiva pero con mayor velocidad, aunque en nuestros Ferrocarriles las unidades de camino tienen la misma relación de engranes para desarrollar la misma velocidad y fuerza tractiva.

Actualmente en nuestros Ferrocarriles hay en servicio locomotoras de las marcas E.M.D., A.L.C.O., BALDWIN y GENERAL ELECTRIC para todos los servicios cuya clasificación y características se dan en la tabla siguiente.

SESION 4

CDE 1.4. Curvas de Esfuerzo Tractivo en la Locomotora Diesel.

La locomotora eléctrica ha estado en operación dando un magnífico resultado por muchos años, su utilidad ha sido establecida y su desarrollo actual es producto del avance de la técnica en esa materia sin embargo, la locomotora eléctrica obtiene la potencia para su movimiento de una fuente exterior, de tal modo que su interior lo ocupa para llevar equipo eléctrico para convertir la energía eléctrica que recibe, en energía mecánica para su movimiento, pudiendo operar en lugares previamente electrificados ya sea con cable para trolley o un tercer riel.

La Diesel-eléctrica es una locomotora que genera su propia energía con la planta que lleva consigo misma, el motor Diesel es la fuente de energía para todos los servicios y necesidades de operación. La transmisión a semejanza de las locomotoras eléctricas ha alcanzado un alto perfeccionamiento; los motores de tracción son los mismos que los que llevan las locomotoras eléctricas, con las grandes ventajas que la transmisión eléctrica reporta. Las Diesel-Eléctricas, al no necesitar las instalaciones especiales que requieren para su operación proporcionan un elevado índice de flexibilidad en su operación. Sin embargo el motor Diesel, el generador de tracción, el combustible el lubricante, el agua de enfriamiento y el equipo de control, llenan el espacio útil de la locomotora añadiendo una cantidad de peso a la misma, lo que obliga a que los motores de tracción sean ligeros y de tamaño reducido, debido a que no hay mucho espacio útil entre las ruedas del truck de la locomotora. Los motores para limitarse a este espacio reducido, sacrifican algunas características fundamentales en su construcción. La cantidad de cobre y aislamiento usado en los motores está limitado por las restricciones de espacio, esto trae como consecuencia la disminución en su capacidad de poder sobrecargarse, de aquí que la magnitud de la carga que los motores pueden soportar, está limitada por el elevamiento permisible de temperatura.

Velocidad Máxima. Una cierta velocidad máxima está dada para cada tipo de locomotora Diesel -Eléctrica de acuerdo con la relación de engranes entre el piñón del motor de tracción y la corona del eje de las ruedas, la máxima velocidad se basa en el máximo de revoluciones por minuto de la armadura del motor de tracción.

El número máximo de revoluciones por minuto del motor de tracción es el mismo en una locomotora con ruedas de 40" y relación de engranes 62:15 a 105 KPH que en una locomotora con 40" de diámetro de las ruedas también, con relación de engranes 57:20 y velocidad de 150 KPH; si se excede el número máximo de RPM de la armadura, se pueden causar serios daños al motor de tracción por la fuerza centrífuga que se produce.

La relación de engranes de una locomotora se expresa por el número de dientes de la corona entre el número de dientes del piñón, así que una relación de engranes 74:18 nos dice que 74 dientes tiene la corona y 18 el piñón.

Todos los fabricantes de locomotoras proporcionan gráficas con curvas que muestran el esfuerzo tractivo que puede desarrollar una unidad Diesel por ellos fabricada en la relación de engranes que se proporcione y añaden a esto el esfuerzo tractivo continuo que dicha unidad desarrolla sin dañar el equipo eléctrico de tracción. El esfuerzo tractivo de una unidad Diesel-Eléctrica, se basa en la siguiente fórmula:

FORMULAS PARA ENCONTRAR EL ESFUERZO TRACTIVO DE UNA LOCOMOTORA DIESEL-ELECTRICA

Fórmula General:

$$\text{Esfuerzo tractivo en Lbs.} = \frac{308 \times \text{potencia para la tracción en H.P.}}{\text{Velocidad en millas por hora.}}$$

Particular para locomotoras que usan motores de tracción General Electric.

$$\text{Esfuerzo tractivo en Lbs.} = \frac{318 \times \text{potencia para la tracción en H.P.}}{\text{Velocidad en millas por hora.}}$$

Para el Sistema Métrico Decimal.

$$\text{Esfuerzo tractivo en Kgs.} = \frac{301.6 \times \text{potencia para la tracción en K.W.}}{\text{Velocidad en kilómetros por hora.}}$$

EJEMPLO:

Se trata de calcular el esfuerzo tractivo de una locomotora de patio con potencia para la tracción de 1000 H.P. Primero en libras y segundo en kilogramos y a la velocidad de 10 millas por hora.

DESARROLLO:

$$1^\circ \text{ Esfuerzo tractivo} = \frac{308 \times 1000}{10} = 30,800 \text{ libras}$$

$$2^\circ \text{ Esfuerzo tractivo} = \frac{301.6 \times 746}{16.09} = 13,983.2 \text{ Kgs.}$$

y vemos que 30,800 libras = 13,983.2 Kgs.

1000 HP = 746 KW.

10 millas = 16.09 Kmts.

Para comprobar lo anterior, procedemos a construir la gráfica de esfuerzo tractivo de una unidad Diesel-Eléctrica tipo F-9 EMD, 1750 HP, para saber interpretar estas gráficas de esfuerzo tractivo velocidad.

SESION 5

CDE 1.5. En esta sesión se verá una película sobre fuerza moderna Diesel y Electricidad.

SESION 6

CDE 1.6. Esta sesión se empleará en visitar las unidades en el Taller Diesel para inspeccionar e identificar sus partes.

FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y CIRCUITOS ELECTRICOS

Instructivo CDE. 8

De la sesión 1 (CDE 8.1.) hasta la sesión 20, (CDE 8.20). En este grupo de sesiones se darán los conceptos básicos de la electricidad, procurando adaptarse a la preparación anterior de los operarios que reciben el curso.

ELECTRICIDAD

Constitución de la Materia. La electricidad es una forma de energía que está íntimamente relacionada con la estructura de la materia. Las substancias que nos rodean, son generalmente compuestos químicos de substancias simples. Así el agua es un compuesto químico de hidrógeno y oxígeno, la sal común es un compuesto químico de sodio y de cloro. En cambio los metales son cuerpos simples, así el hierro, el cobre, la plata, el oro, son cuerpos constituidos por sólo hierro, sólo cobre, sólo plata, etc.; lo mismo ocurre con el hidrógeno, con el oxígeno, con el nitrógeno, etc. En la naturaleza hay alrededor de 100 cuerpos simples que al combinarse entre sí producen todas las demás substancias conocidas.

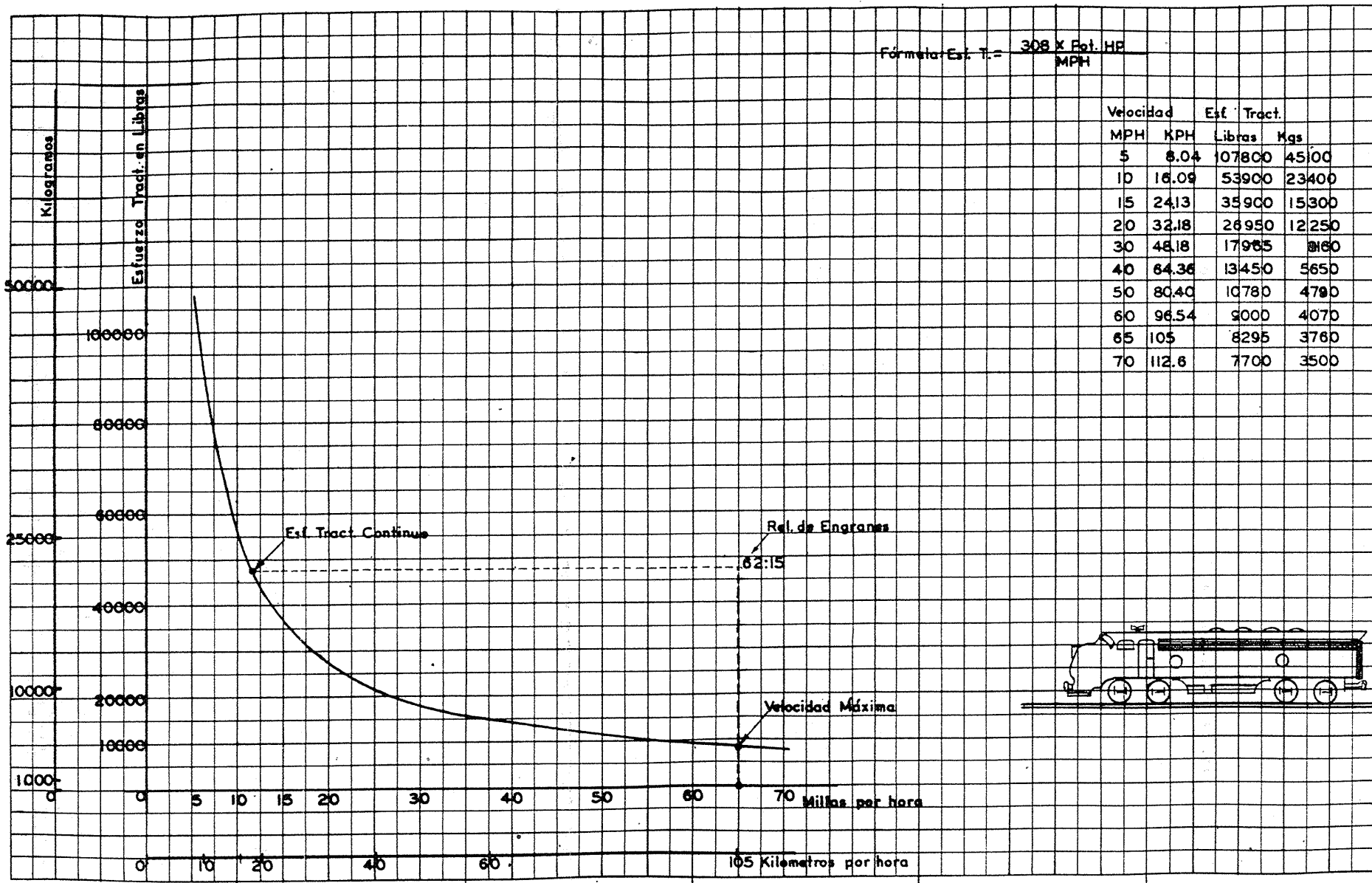
Desde el siglo pasado se sabe que los cuerpos compuestos están formados por moléculas y los cuerpos simples por átomos. Esto quiere decir que si subdividimos indefinidamente un cuerpo compuesto llegamos a una molécula; en cambio subdividiendo indefinidamente un cuerpo simple obtendremos un átomo. Las moléculas son agrupamientos especiales de átomos. Así una molécula de agua está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Constitución del Atomo. Según lo anterior, el átomo es la parte más pequeña en que puede subdividirse una substancia simple. Durante mucho tiempo se consideró que el átomo era indivisible; hoy se sabe que el átomo mismo está formado por un núcleo central cargado de electricidad positiva, alrededor del cual giran electrones cargados de electricidad negativa. Desde el punto de vista eléctrico, en un átomo las cargas negativas y las positivas están equilibradas, es decir, que por cada electrón que lleva carga negativa, hay un protón o carga positiva en el núcleo. Si el átomo pierde uno o más electrones, quedará en el núcleo uno o más protones sin contrarrestar, dando por resultado un átomo cargado positivamente. Si el átomo admite uno o más electrones a su sistema resulta un átomo cargado negativamente. De aquí el origen de las dos clases de electricidad, la positiva y la negativa.

Carga Eléctrica. Se llama carga eléctrica al exceso o a la falta de electrones en los cuerpos.

**GRAFICA DE ESFUERZO TRACTIVO-VELOCIDAD LOCOMOTORA
DIESEL-ELECTRICA F-9 EMD
1750 H.P.**

Fórmula Est. T. = $\frac{308 \times \text{Pot. HP}}{\text{MPH}}$



Ley de Coulomb. Se demuestra experimentalmente que las cargas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen. Coulomb midió el valor de la fuerza de atracción y repulsión, encontrando que esta fuerza es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que les separa. Si tenemos dos cargas eléctricas Q_1 y Q_2 distantes " r " ctms., la fuerza de atracción o repulsión expresada en dinas está dada por la expresión debida a Coulomb:

$$F = \frac{1}{K} \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

en donde K es una constante cuyo valor depende del medio en el que están las dos cargas. En el vacío $K = 1$.

Unidad de Carga. Una carga eléctrica que rechaza a otra igual situada a un centímetro de distancia en el vacío con la fuerza de un dina, es por definición una carga unitaria. Se llama a esta carga un coulombio estático.

Campo Eléctrico. Una carga eléctrica crea a su alrededor un campo de fuerzas como puede demostrarse explorando el espacio con otra carga eléctrica que en cada punto será atraída o repelida por la primera, con una fuerza dada por la ecuación de Coulomb. La intensidad del campo eléctrico es la fuerza con que la carga eléctrica creadora del campo atrae o repele la unidad de carga en cada punto. La intensidad del campo nos viene dada por la misma ecuación de Coulomb en donde bastará que hagamos $Q_2 = 1$. Llamando E a esta intensidad tendremos:

$$E = \frac{1}{K} \times \frac{Q_1}{r^2}$$

Vemos que la intensidad del campo en cada punto es directamente proporcional a la carga que lo genera e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia del punto al centro de la carga.

Potencial Eléctrico. Dada una carga eléctrica positiva o negativa, si nos acercamos a la misma con una carga unitaria del mismo signo, lo haremos en contra de la repulsión mutua de las cargas y estaremos por lo tanto realizando un trabajo (Fuerza en dinas por distancia en centímetros). A la suma de los trabajos que se realizan para traer a la unidad de carga, desde el infinito hasta un punto que diste r ctms., del centro de la carga, es a lo que llamamos potencial electrostático en dicho punto. Su valor se deduce de la Ley de Coulomb y vale:

$$V = \frac{1}{K} \times \frac{Q}{r}$$

El potencial es entonces directamente proporcional a la carga Q e inversamente proporcional a la distancia r :

Si abandonamos a la carga unitaria exploradora, el campo la rechaza hasta el infinito, devolviéndonos el trabajo que realizamos al acercar la carga unitaria a la distancia r de Q .

Capacidad. Hemos visto como una carga eléctrica aislada produce un potencial que en cada punto del espacio que la rodea, tiene un valor distinto. En particular el potencial electrostático de la carga misma es igual al trabajo que hay que ejecutar para traer la unidad de masa desde el infinito hasta la carga.

Si aumentamos la carga, aumentaría el potencial en una proporción que depende de la forma del cuerpo que la contiene. En general el potencial es directamente proporcional a la carga que lo genera, siendo el factor de proporcionalidad lo que mide precisamente la capacidad del cuerpo.

$$Q = C V$$

$$\text{de donde } C = \frac{Q}{V} = \text{capacidad en faradios.}$$

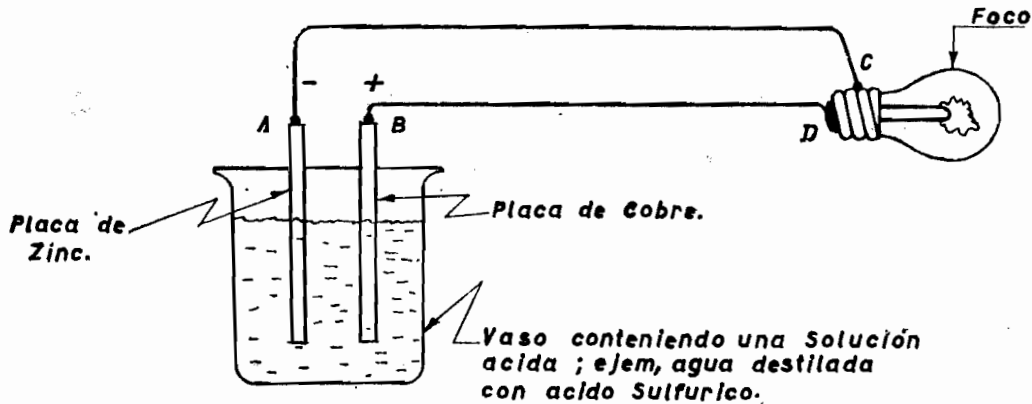
La ecuación anterior nos hace ver que la capacidad es la carga por unidad de potencial. O sea el número de coulombios que se requiere almacenar en un cuerpo dado para que su potencial sea de 1 voltio electrostático.

Este valor varía de un cuerpo a otro, y mide su capacidad para almacenar electricidad. Así, a mayor capacidad, mayor será la cantidad de carga que se almacena para un potencial dado.
La capacidad se mide en faradios.

ORIGEN DE LA CORRIENTE ELECTRICA

En las aplicaciones técnicas de la electricidad se necesita poner en movimiento grandes cantidades de electricidad para producir efectos prolongados. La corriente debe de circular de manera ininterrumpida y, por consiguiente, tiene que existir una diferencia de potencial constante (d.d.p.); la fuerza que mantiene esa d.d.p. se llama fuerza electromotriz (f.e.m.)

Imaginemos un circuito sencillo en el que suministra la corriente un elemento galvánico.



La d.d.p. = f.e.m. mientras el elemento está abierto.

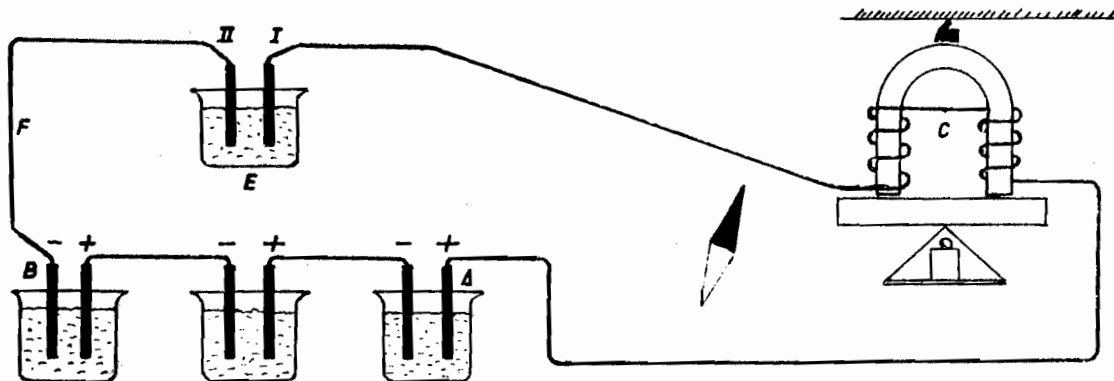
Uniendo a los polos A y B con C y D tiene lugar una compensación del potencial, circulando una corriente que partiendo de la placa B pasa por la lámpara a la placa A y termina de nuevo en la placa B a través del líquido.

El paso de los electrones a través del filamento produce calor, que lo pone en estado de incandescencia.

La fuerza electromotriz no produce electricidad, sino que da lugar a la circulación de la electricidad existente a través del circuito.






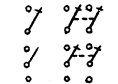
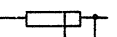



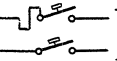

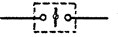
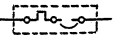


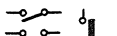

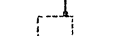
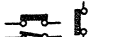

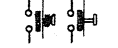
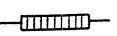



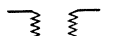


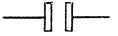



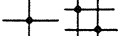






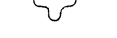

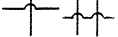
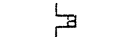


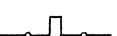

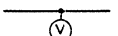
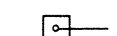

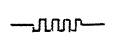
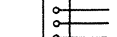

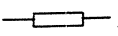


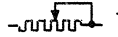


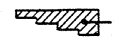
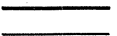

NOTA: Al final de esta sesión se exhibirán películas sobre electricidad y potencia moderna Diesel.

EFFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA



Refiriéndonos a la figura, del borne A de la batería de pilas conectamos el enrollamiento C de hilo de cobre aislado en un núcleo de hierro dulce en forma de herradura, la placa de cobre I del vaso E que contiene una sal de níquel y agua, el borne B de la batería en cambio lo conectamos a la placa II

TABLA DE SIMBOLOS CONVENCIONALES USADOS EN LOS DIAGRAMAS ELECTRICOS DE LOCOMOTORAS DIESEL

 ARMADURA DE GENERADOR O MOTOR DE C.C.	 RELEVADOR TIPO BUS	 RESISTENCIA CON DERIVACIONES FIJAS	 REACTOR Y NUCLEO C.A.
 ARMADURA DE GENERADOR O MOT. DE CA. 3 ϕ	 INTERRUPTORES DE NAVAJAS 1 POLO Y 2 POLOS, TIRO SENCILLO Y TIRO DOBLE	 RESISTENCIA AJUSTABLE	 REACTOR Y NUCLEO C.C.
 BOBINAS (CAMPO DE EXCITACION, RELEVADOR CONTACTORES, ETC.)	 INTERRUPTOR GIRATORIO (ABIERTO Y CERRADO)	 INTERRUPTORES DE CIRCUITO (DE GOLPE)	} REOSTATOS
 INTERRUPTOR, TIPO TAMBOR	 INTERRUPTOR DE MARIPOSA	 INTERRUPTOR TERMICO	
 CONTACTOR DE INVERSION DE CAMPO EN SERIE.	 CAMPANA DE ALARMA	 INTERCONEXION NORMALMENTE ABIERTA	
 CONTACTOR CON BOBINA PARA CHISPAS PERMANENTE.	 ZUMBADOR	 INTERCONEXION NORMALMENTE CERRADA	
 CONTACTOR CON BOBINA DE DISIPACION DE ARCO.	 INTERRUPTOR DE BOTON (CON Y SIN RESORTE.)	 RESISTENCIA DE CARBON	 CON LIMITE DE ACTIVIDAD
 CONEXION A TIERRA	 FUSIBLE	 TRANSFORMADOR CON NUCLEO DE AIRE.	 SECCION INACTIVA
 CONDENSADOR O CAPACITOR	 PRUEBA DE FUSIBLE	 TRANSFORMADOR CON NUCLEO DE HIERRO	 SECCION ACTIVA
 RECTIFICADOR (LA FLECHA MUESTRA LA DIRECCION DE LA CORRIENTE)	 CONDUCTORES CONECTADOS	 ALTERNADOR TRIFASICO (CONEX. ESTRELLA)	
 PILA SECA	 CONDUCTORES QUE SE CRUZAN SIN CONECTARSE	 ROTOR DE ALTERNADOR DE IMAN PERMANENTE.	
 BATERIA DE ACUMULADORES	 BLOQUE TERMINAL DE CONEXIONES	 RELEVADOR TERMICO	
 RECEPTACULO EXTERIOR DE CARGA DE ACUMULADORES	 ELEMENTO TERMICO	 RELEVADOR TERMICO	
 LAMPARA	 AMPERIMETRO CON SHUNT	 ALTERNADOR TRIFASICO (CONEX. ESTRELLA)	
 RECEPTACULO PARA LAMPARA O EXTENSION	 VOLTIMETRO	 ROTOR DE ALTERNADOR DE IMAN PERMANENTE.	
 RECEPTACULO POSTERIOR PARA LAMPARA	 RESISTENCIA FIJA	 RELEVADOR TERMICO	
 RELEVADOR TIPO DE CABLE	 RESISTENCIA VARIABLE	 ELEMENTO TERMICO	
 RECEPTACULO PARA CLAVIJA	 BLOQUE TERMINAL DE CONEXIONES	 CONTACTOS PRINCIPALES DE INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA (LA FIGURA EN EL CIRCULO INDICA QUE NUM. DE CONTACTO ES.)	
		 RECEPTACULO DE ACOPLAMIENTO ELECTRICO ENTRE UNIDADES (OPERACION EN MULTIPLE)	
		 INTERRUPTOR TERMOSTATICO (TIPO ESCALERA)	
		 CONDUCTOR DE POTENCIA (ALTO VOLTAJE)	
		 CONDUCTOR DE CONTROL (BAJO VOLTAJE)	

**INSTITUTO DE CAPACITACION
FERROCARRILERA
ESCUELA DIESEL DE S.L.P.**

también de cobre en el vaso *E*, a través de un hilo delgado de hierro *F*. En el tramo de la bobina *C* a la placa *I* el hilo de cobre pasa sobre una aguja magnética.

Al cerrarse el circuito se presentan determinados movimientos en los mencionados dispositivos: el hierro en forma de herradura se hace magnético, es decir, se pone en condiciones de sostener una armadura de la que penda un peso; la aguja magnética se desvía; en el vaso *E*, burbujas de gas indican la presencia de una descomposición química, y en todas las conexiones se produce calor, lo cual se comprueba con el enrojecimiento del hilo designado *F*. Al abrirse el circuito vuelve todo al estado primitivo y sólo la placa *II* indica una variación permanente, pues está recubierta de un precipitado metálico (níquel).

Por consiguiente hemos observado cuatro efectos: 2 magnéticos, la imantación del fierro y la desviación de la aguja, uno químico y uno calorífico.

Si la bobina *C* se compone de hilos muy delgados y flexibles y se deja libre en lugar de colocarla sobre el núcleo de fierro, se acortará algo debido a los efectos electrodinámicos de la corriente que circula en todas las espirales, en el mismo sentido, dando lugar a una atracción entre ellas. Algunos de estos efectos muestran un sentido determinado que se repite siempre, sea cual fuera la secuencia de la apertura y cierre del circuito, cuando se conserva el mismo orden.

Invirtiendo ahora el circuito, para lo cual se cambia la conexión conmutando los hilos que van a los puntos *A* y *B*, los efectos mencionados se repiten pero en sentido contrario; de aquí se deduce un "sentido de la corriente". Tomando como base los efectos químicos de la corriente se ha convenido en que el sentido de la corriente sea aquél en el cual se mueve el metal de una dilución metálica durante su descomposición.

Repitiendo nuevamente los ensayos después de haber aumentado el número de elementos galvánicos, veremos reproducirse los mismos efectos pero en mayor escala; lo cual nos lleva a considerar una segunda propiedad de la corriente: su "intensidad", por la que se determina el grado de magnitud de sus efectos; fijándose como unidad de intensidad aquélla que precipita en un segundo 1.118 mg. de plata ó 0.329 mg. de cobre, llamándosele un amperio. Una corriente de intensidad de un amperio precipita entonces 1.118 mg. de plata, una de 10 amperios en un segundo 1.118×10 mg. etc., de donde deducimos que una corriente de *I* amperio precipita en *t* segundos un peso $P = 1.118 It$ de plata o $P = 0.329 It$ mg. de cobre.

Sabemos que la unidad de cantidad de electricidad es el coulombio o amperio-segundo; entonces un amperio es igual a un coulombio sobre segundo.

Con dos amperios circularán en 1 segundo 2 coulombios; con dos amperios en 60 segundos 2×60 coulombios, y con *I* amperio en *t* segundos la cantidad de $Q = It$...Coulombios.

Mayores cantidades de electricidad correspondientes a un tiempo más largo de duración de la corriente se miden en amperios-hora.

Un amperio hora es igual a 3,600 coulombios, $1 ah = 3600 c$.

Se deduce de lo anterior que las cantidades de metal precipitadas por la descomposición electro-lítica son proporcionales a las cantidades de electricidad que pasan. En general la cantidad precipitada por un Coulombio o sea un amperio durante un segundo, se llama equivalente electroquímico α de la substancia de que se trata; así que para el cobre $\alpha = 0.329$ mg., para la plata $\alpha = 1.118$ mg. De donde deducimos generalmente que $P = \alpha It$, o bien, $P = \alpha Q$, mg.

RESISTENCIA ELECTRICA

En todos los cuerpos por donde circula electricidad, sus moléculas oponen cierta resistencia al movimiento de los electrones, que se traduce en el refuerzo del movimiento oscilatorio de las moléculas y que percibimos como calor. Se ha encontrado que, la resistencia de un conductor es inversamente proporcional a su sección y directamente proporcional a su longitud.

La unidad de resistencia es el *Ohm* Ω y ésta es la resistencia de un conductor tal que permite el paso de una corriente de un amperio cuando en sus extremos tiene aplicada una diferencia de potencial de un voltio.

Cuanto menor sea la resistencia de un cuerpo, tanto mejor conduce la corriente eléctrica; entonces tanto mayor será su conductividad. Luego el comportamiento de un conductor con relación a la co-

rriente circulante puede también expresarse por su conductancia, siendo ésta el inverso de la resistencia. Se designa con la letra G y su unidad es el siemens, que es la conductancia del conductor de un ohm de resistencia, por lo que $G = 1/R \dots$ siemens. Luego un conductor de 2 ohms de resistencia tiene una conductancia de $1/2$ siemens.

En todo material, al variar la temperatura, cambia el estado de movimiento de las moléculas y en un conductor eléctrico la resistencia opuesta a la libre circulación de los electrones es distinta. De aquí se deduce que cuando se eleva la temperatura crece la resistencia de los materiales, mientras que en los líquidos y en algunos sólidos como en el carbón, disminuye.

Por supuesto, la variación de la resistencia depende de la magnitud del cambio de temperatura y es proporcional hasta los 100°C .

LEY DE OHM

Cuando se establece una $d.d.p.$ entre dos cuerpos y el material que une a esos cuerpos es conductor, se tiene un desplazamiento continuo de cargas eléctricas a través del material.

Manteniendo esa $d.d.p.$ las cargas eléctricas en número muy grande se dirigirán desde el cuerpo o punto de mayor potencial hacia el de menor potencial, por el camino que les facilita el conductor; se tiene así una corriente llamada de conducción, de sentido invariable, o como suele decirse comúnmente, una corriente continua eléctrica.

Ohm en 1826 demostró experimentalmente que si se tomaba un cuerpo conductor, sometido a condiciones invariables de temperatura y presión, y se aplicaban distintas $d.d.p.$ entre los extremos, aparecía una relación perfectamente definida entre las $d.d.p.$ aplicadas y las corrientes eléctricas que recorrían a dicho conductor.

Mientras subsistan aquellas condiciones y no se alteren las dimensiones del conductor se obtendrá la siguiente relación:

$$\frac{E_1}{I_1} = \frac{E_2}{I_2} = \frac{E_3}{I_3} = \dots \text{constante}$$

Se puede decir entonces, que si un conductor tiene sus extremos sometidos a una $d.d.p.$ $E = 1 \text{ V}$, por ejemplo, circulará cierta corriente I ; si dicha $d.d.p.$ se hace 2, 3, 5, 10 o más veces mayor, la corriente crece en la misma proporción; es decir, que se hará 2, 3, 5, 10 o más veces mayor. El valor de esta relación constante se denomina resistencia eléctrica del conductor considerado o simplemente resistencia, de modo que la Ley de Ohm queda expresada de la siguiente manera: "La intensidad de la corriente es directamente proporcional a la $f.e.m.$ e inversamente proporcional a la resistencia total."

Ya conocemos las unidades de estas magnitudes: *Ampere, Ohm, Volt*. También sabemos que las dos primeras se han fijado por convenios internacionales. Ahora bien, la unidad de $f.e.m.$ o tensión, el volt se ha elegido de modo que una $f.e.m.$ de 1 volt como la de un elemento Daniell, produzca un amperio cuando la resistencia total exterior e interior juntas, sea de 1 ohm.

Así, una $f.e.m.$ de 2 V en un circuito de 1 ohm, producirá una corriente de 2 A; por lo expuesto anteriormente, una $f.e.m.$ E da lugar en un circuito de R ohms a una intensidad que vale;

$$I = \frac{E}{R} \dots \text{Amps.}$$

$$E = IR \dots \text{volts.} \quad \text{y} \quad R = \frac{E}{I} \dots \Omega$$

Al producto de RI se le llama también caída de tensión. Así es que se define perfectamente la resistencia de un conductor por la relación existente entre la $d.d.p.$ aplicada y la intensidad de la corriente que lo recorre.

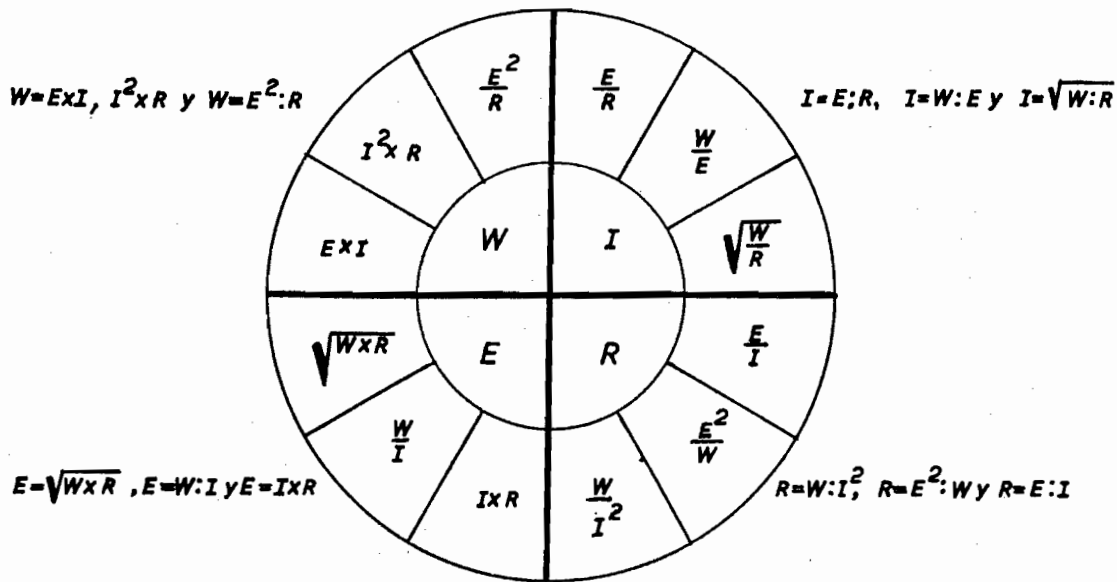
En el siguiente diagrama se muestran las fórmulas para resolver problemas con la ley de Ohm, en los cuales intervengan los siguientes valores:

W = Potencia en Wattios.

I = Corriente en Amperios.

E = Fuerza electromotriz en Voltios.

R = Resistencia en ohmios.



POTENCIA ELECTRICA

La potencia eléctrica (w) se mide en Watts y es la energía consumida o entregada por unidad de tiempo. La potencia es directamente proporcional a la tensión y a la intensidad.

Así que: $W = I \times E$ y: $I = \frac{W}{E}, E = \frac{W}{I}$

Combinando la ley de Ohm y la de Watt:

$$W = I^2 R, I = \sqrt{\frac{W}{R}}, R = \frac{W}{I^2}, W = \frac{E^2}{R}, E = \sqrt{WR}, R = \frac{E^2}{W}$$

RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES

Los mejores conductores son: los metales preciosos, platino, plata, oro; el más comunmente usado de los conductores metálicos es el cobre, por sus características especiales.

Fórmula para resistencia de conductores: $R = \rho \frac{l}{s} \dots$

ρ = Resistividad o resistencia específica.

Las medidas son: longitud (l), en metros; (s) sección en milímetros cuadrados.

TABLA DE RESISTIVIDAD

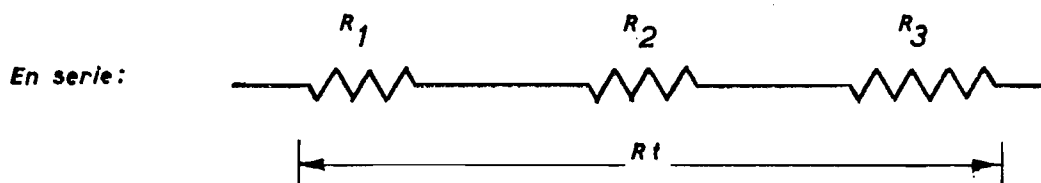
Cobre	0.016
Aluminio	0.032
Hierro	0.090
Maillerhot	0.300
Nikelina A	0.332
Nikelina B	0.448
Nicromel	1.000

La resistencia de los metales aumenta con la temperatura. Las aleaciones metálicas con las que se hacen las "resistencias", (nicromel, etc.) cambian poco su resistencia ohmica y soportan una corriente muy grande.

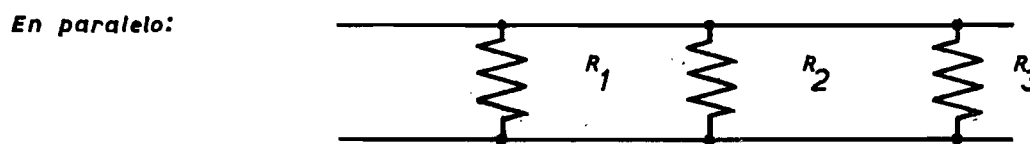
Substituyendo ρ se averigua la resistencia del conductor.

Las resistencias para los "shunts" y multiplicadores o las de alta precisión tienen un 1% de tolerancia. Las resistencias de carbón se fabrican para soportar diversas potencias eléctricas y las hay de $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1 y 2 vatios, (o Watts), con valores desde 20 ohmios, hasta 20 megohmios.

ASOCIACION DE RESISTENCIAS



$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots$$



$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots}$$

Para dos resistencias en paralelo:

$$R_t = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Para resistencias iguales conectadas en paralelo:

$$R_t = \frac{R}{n}$$

R = Valor de la resistencia.

n = Número de las resistencias conectadas.

Los mixtos se resuelven considerando qué es lo que queda en serie y qué en paralelo. Las combinaciones de serie o de paralelo, se resuelven separadamente y con lo obtenido se forma un nuevo sistema considerando cada combinación como una sola resistencia.

Al asociar resistencias en paralelo, la combinación adquiere una potencia de disipación igual a la suma de las potencias de cada resistencia. Esto nos permite obtener una resistencia de gran potencia con algunas del tipo de baja potencia. Las resistencias modernas son metalizadas en montaje de cerámica (las de carbón ya no se fabrican) y disipan una gran potencia.

LEY DE KIRCHOFF

Primer enunciado.

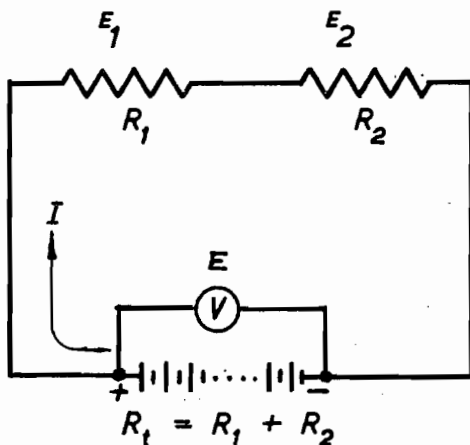
"La suma de las caídas de voltaje en un circuito, es igual al voltaje aplicado."

$$\Sigma IR = E$$

En los circuitos en serie, cada resistencia produce una caída de tensión que depende del valor ohmico de la resistencia y la corriente que circula a través de la misma. Suponiendo, como es el caso en los circuitos en serie, que la misma corriente de I amperios circule a través de toda las resistencias, entonces si se tienen, digamos, las resistencias R_1 y R_2 en serie, las caídas de tensión respectivas son $R_1 I$ y $R_2 I$. Si el voltaje aplicado es de E voltios, por la ley de Kirchoff. se tiene:

$$E = R_1 I + R_2 I = I (R_1 + R_2)$$

Cálculo:



$$I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$E_t = E_1 + E_2 = \text{Suma de las c.d.t.}$$

$$E_1 = I \times R_1 ; E_2 = I \times R_2$$

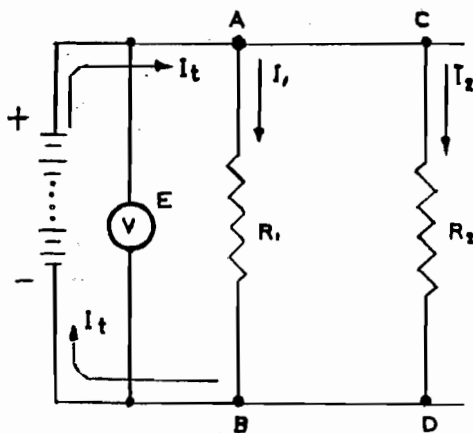
Segundo enunciado.

"La suma algebraica de las corrientes en un punto de un circuito es igual a cero."

$$\Sigma I = 0$$

Según esta ley, en el punto A de la figura, la corriente que llega I_1 es igual a la suma de las corrientes que salen o sea: $I_t = I_1 + I_2$. Por otro lado, aplicando la ley de ohm al tramo AB , se tiene que $I_1 = \frac{E}{R_1}$, $I_2 = \frac{E}{R_2}$, ya que la tensión entre AB y CD es la misma. Por lo tanto: En los circuitos en paralelo la corriente se divide tantas veces cuantas resistencias haya, correspondiendo la mayor corriente a la menor resistencia, y viceversa. El voltaje es el mismo en los extremos de todas las resistencias.

Cálculo:



$$I_t = I_1 + I_2 = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2}$$

$$I = \frac{E}{R_t}$$

$$R_t = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

ELEMENTOS GALVANICOS

Al estudiar los principios de Electrodinámica se ve que los electrones pueden desplazarse o fluir en una dirección definida a través de un conductor, mediante la aplicación de una fuerza que se denomina fuerza electromotriz (*f.e.m.*), que es la que mantiene los electrones en movimiento. Esta fuerza puede producirse por varios métodos:

- 1º—Por frotamiento entre dos cuerpos o por inducción eléctrica.
- 2º—Por acciones químicas.
- 3º—Por inducción electromagnética.
- 4º—Por la acción termoeléctrica producida por el contacto y calentamiento de dos metales diferentes.

Los métodos 1º y 4º no son empleados comercialmente, el 3º se emplea para producir *f.e.m.* en grande escala, para fines de alumbrado y distribución de energía eléctrica.

El segundo método resulta de gran utilidad, sobre todo en los lugares donde no se dispone de una red para el suministro de energía eléctrica o en casos en los cuales se requiere el empleo de una pequeña *f.e.m.*

Se entiende por generador químico de corriente eléctrica o simplemente por elemento galvánico, a 2 cuerpos metálicos diferentes (por ejemplo zinc o cobre) sumergidos en una solución química que recibe el nombre de electrólito, dándoseles el nombre de electrodos (+) y (-) a dichos cuerpos.

DESCUBRIMIENTO DE GALVANI

Un nuevo método para producir electricidad fue descubierto por Galvani a fines del año 1780 e investigado escrupulosamente por Volta. Galvani observó que cuando dentro de una solución salina tenía suspendida por un gancho de cobre una pierna de rana, se producían contracciones en las piernas cada vez que el extremo libre de la pierna tocaba un enrejado de hierro.

Volta fue el primero en encontrar la verdadera significación de este descubrimiento, reconoció que siempre que dos metales diferentes están unidos por un líquido, como en el agua salada en el caso de la pierna de rana, se produce en ellos un desarrollo de electricidad que hace que ambos metales posean diferentes potenciales.

Por causa de este desarrollo de la electricidad creía Volta que debía encontrarse solamente en el contacto de las diferentes sustancias conductoras.

Actualmente sabemos que no sólo está en el contacto, sino que son procesos químicos los que ocasionan este desarrollo de electricidad y que se explican acudiendo a la "Teoría Electrónica".

Los metales contienen gran cantidad de electrones libres, pero en algunos las moléculas permiten con más facilidad que en otros la separación de uno o más electrones.

La nube de electrones libres en un metal actúa en forma parecida a un gas; se expanden y ejercen presión contra los límites del metal, en el zinc es mayor esta presión que en el cobre; por consiguiente, cuando se juntan zinc y cobre advertimos que de aquél pasan a éste, lo cual forma una carga (—) en el cobre y una (+) en el zinc.

En metales secos estas cargas por contacto son muy débiles y resultan difíciles de medir; pero como ya hemos dicho, cuando dos substancias diferentes son puestas en contacto adquieren cargas diferentes y esto es tan cierto en el caso de que sólidos toquen a líquidos. Si una placa metálica es sumergida en un líquido, tanto el líquido como el metal adquieren cargas: si se introduce otra placa metálica del mismo metal anterior en el líquido, es cargada en la misma forma que la primera, de tal modo que no hay diferencia eléctrica entre ambas; más si la segunda placa es de otro metal, recibe una carga diferente a la de la primera, de manera que una placa se torna (—) y la otra (+); podría imaginarse que cuando se tienen dos cuerpos cargados, si éstos fueran conectados por un alambre habría una descarga, como en una botella de Leyden y todo volvería a quedar en estado neutro; pero en el caso que nos ocupa muchas cosas pueden acontecer, tiene lugar una acción química tan rápidamente como los electrones circulan a través del conductor, del zinc al cobre, son atraídos en la parte del cobre que se encuentra en la solución y nuevos electrones son aumentados al zinc, manteniéndose la circulación. La corriente circula continuamente en el conductor mientras dura la acción química; de esta manera vemos que la solución en que están sumergidas las dos placas metálicas es un manantial enorme de iones tanto positivos como negativos la solución recibe el nombre de "electrólito" y las dos placas el de "electrodos" cuya polaridad la determina su constitución.

CONEXION DE ELEMENTOS GALVANICOS

Los elementos galvánicos se pueden acoplar, para constituir baterías, o unirse a otros generadores de corriente, del mismo modo que las resistencias, esto es:

EN SERIE, EN PARALELO Y MIXTO

CONEXION SERIE. Se aplica cuando la resistencia exterior es grande y es requisito para ello una tensión o voltaje mayor que el que puede suministrar un solo elemento galvánico, en esta conexión el polo positivo de cada elemento está unido al negativo del siguiente, pasando la misma corriente por todos ellos, de esta manera tenemos que el voltaje total obtenido es la suma de cada uno de los voltajes parciales.

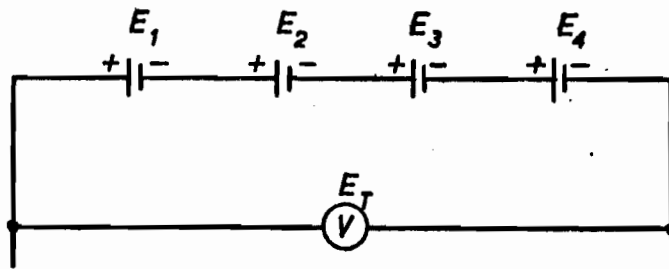
CONEXION PARALELO Esta conexión se requiere cuando es necesario el voltaje de un solo elemento y una corriente mayor, en esta conexión todos los polos positivos están unidos entre sí, e igualmente los negativos; de esta manera tenemos que el voltaje total es el voltaje de un sólo elemento y la corriente total obtenida es la suma de cada uno de los elementos parciales.

Como consecuencia de lo anterior podemos dar la siguiente regla:

"Con objeto de obtener la mayor intensidad posible, deben acoplarse en serie cuando la resistencia exterior sea grande, y en paralelo cuando ésta sea pequeña."

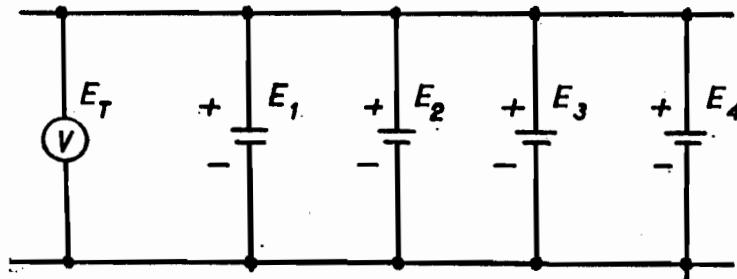
CONEXION MIXTA. Cuando es necesario un voltaje un poco mayor que el de un sólo elemento y una corriente un poco mayor también, se hará la conexión llamada mixta o de grupos, formando grupos de elementos en paralelo que luego se unen en serie, o bien formando grupos de elementos en serie que se acoplan después en paralelo.

En las figuras siguientes se ilustran los tipos de conexión mencionados:



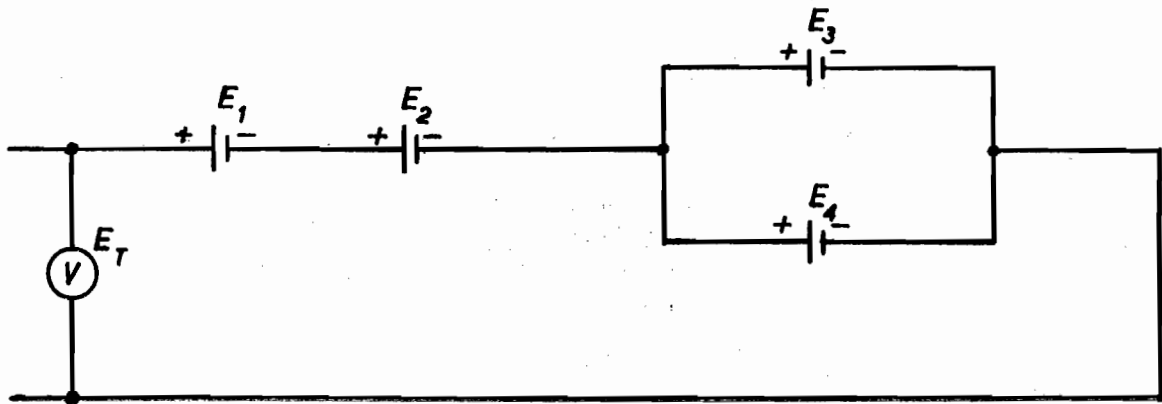
$$E_{total} = E_T = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

EJEMPLO DE CONEXION EN SERIE.



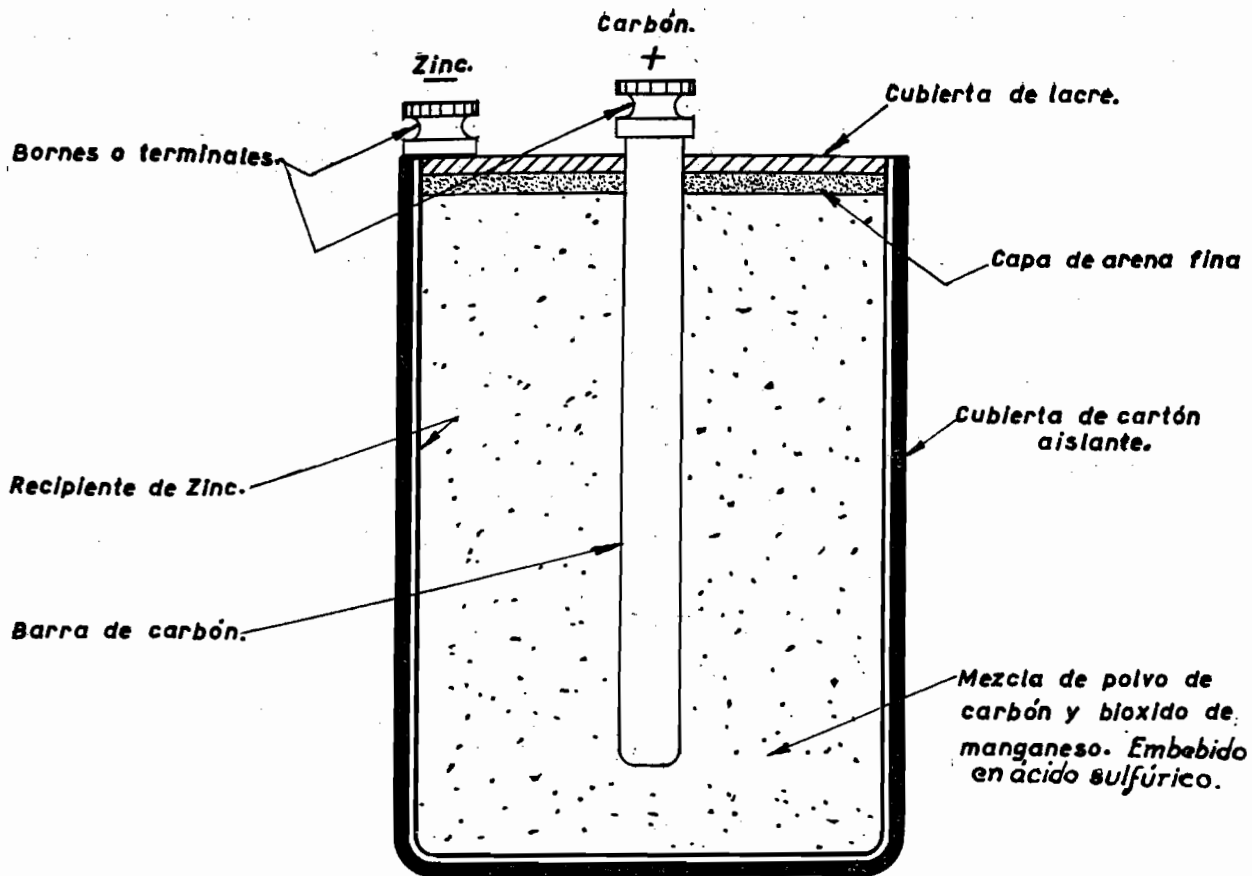
$$E_{Total} = E_T = E_1 - E_2 - E_3 - E_4$$

EJEMPLO DE CONEXION EN PARALELO.



$$E_{Total} = E_T = E_1 + E_2 + \frac{E_3 + E_4}{2}$$

EJEMPLO DE CONEXION MIXTA.



CORTE TRANSVERSAL DE UNA PILA SECA. DERIVADA DEL TIPO LECLANCHE.
Fuerza Electromotriz \approx 1.5 Volts

EJEMPLOS

Un elemento tiene una *f.e.m.* de 1.45 V. con resistencia interna de 2 Ω . ¿Qué intensidad se obtiene cuando se conecta en un circuito con resistencia de 25 Ω ? ¿Qué intensidad da una batería de 12 elementos en serie?

Tenemos:

$$E = 1.45 \text{ V}, \quad R_i = 2 \Omega, \quad R = 25 \Omega$$

$$n = (\text{número de elementos})$$

Aplicando la Ley de Ohm y $n = 1$.

$$I_1 = \frac{E}{R + R_i} = \frac{1.45}{25 + 2} = 0.0537 \text{ A},$$

Y para $n = 12$,

$$I = \frac{nE}{R + nR_i} = \frac{12 \times 1.45}{25 + 12 \times 2} = 0.355 \text{ A}.$$

En esta sesión se exhibirán películas sobre conexiones de resistencias y conexiones de elementos galvánicos, con demostración en el laboratorio de lo anterior.

MAGNETISMO

Breves consideraciones teóricas:

Los fenómenos eléctricos están íntimamente ligados con los magnéticos, esto hace que sea su estudio muy importante, como lo veremos más adelante, por ejemplo: los generadores rotativos de la electricidad, son máquinas en cuyo circuito se producen corrientes eléctricas al pasar conductores por delante de los polos de imán, que a su vez están constituidos por enrollamientos eléctricos.

Propiedades de los imanes

Hace muchos años se observó que al estar suspendida una barra de mineral de hierro de cierta clase, de modo que su movimiento estuviera libre, dicho mineral dirigía siempre el mismo extremo, hacia la estrella polar. De la observación continua de este fenómeno se descubrieron las propiedades magnéticas. A pesar de la existencia de imanes naturales, se considera en el estudio del magnetismo, los formados artificialmente; debido a que en los naturales las zonas de máxima atracción están distribuidas de un modo irregular, mientras que en los artificiales se presentan estas zonas tan bien caracterizadas, que han hecho posible la investigación para desentrañar las leyes fundamentales del magnetismo.

Esta palabra se deriva del nombre de una ciudad del Asia menor, Magnesia; en donde ya se empleaban en la más remota antigüedad las propiedades magnéticas de un material que ahí se extraía, al cual denominaban "magnetita", cuya fórmula química es Fe_3O_4 (hierro oxidado o magnético), cuyo nombre vulgar es piedra imán o imán natural; su propiedad principal es el poder de atracción que ejerce sobre los objetos de hierro y acero. Primitivamente se creyó que esta propiedad era particular y propia del hierro; más adelante se observó que también existía en otros cuerpos, aunque en menor intensidad, tales como el níquel, el cobalto y el cromo, y reciben el nombre de materiales magnéticos por esta propiedad.

Los propiedades magnéticas se pueden comunicar al hierro y al acero, por diferentes medios, al acero parcialmente, al hierro temporalmente, a cualquier clase de hierro se le nota una débil propiedad, llamada magnetismo residual o remanente.

POLOS Y LINEA NEUTRA

Si espolvoreamos limadura de hierro sobre un imán, notaremos que este se adhiere en mayor cantidad en puntos determinados, en otros puntos apenas se sostienen y en algunos no experimentan atracción alguna. A los puntos de máxima adherencia se les llama polos y a la parte donde no exista alguna acción magnética, se le llama línea neutra. La línea neutra en una barra está exactamente a la mitad y los polos a $\frac{1}{6}$ de la semilongitud de dicha barra imantada. La recta que une los dos polos del imán recibe el nombre de eje magnético. Una aguja imantada que se deje girar libremente en un plano horizontal, tiende siempre a tomar una misma dirección que para su eje es aproximadamente la de Norte a Sur; este hecho permite distinguir entre sí 2 polos, llamándosele polo norte (*N*) al polo de la aguja que apunta hacia el Norte geográfico y el polo sur (*S*) al opuesto.

La atracción que cualquiera de los 2 polos de un imán ejerce sobre un trozo de hierro dulce, se explica admitiendo que el trozo de hierro se imanta por influencia, formándose frente al polo del imán inductor un polo de nombre contrario, esta transmisión del magnetismo se manifiesta en la llamada cadena magnética, la cuál se rompe al separar el trozo de hierro del imán conductor.

A.—Si se sumerge en limaduras de hierro una pequeña barra imantada, las limaduras se adhieren a ella, la atracción que ejerce el imán sobre las limaduras no es uniforme en todas sus partes; pues las limaduras forman penachos de sus extremos, no manifestando la parte media fuerza atractiva alguna.

Los extremos en que se concentra la fuerza magnética reciben el nombre de polos y la parte media zona neutra.

ATRACCIONES DE LA TIERRA SOBRE LOS IMANES

Cuando un imán se halla libre para moverse, siempre toma una dirección que es idéntica para un mismo lugar, uno de sus extremos se dirige aproximadamente hacia el Polo Norte de la Tierra y el otro hacia el Polo Sur.

B.—Si se cuelga por su centro, con un hilo fino, una pequeña y delgada barra imantada (imán permanente), se podrá comprobar lo dicho anteriormente. Si estando la barra en reposo se desvía de su posición primitiva, volverá a ella en seguida, después de algunas oscilaciones.

ACCIONES RECIPROCAS DE LOS IMANES

Entre los polos de 2 imanes se verifican atracciones y repulsiones análogas a las eléctricas, así entre 2 imanes los polos de igual nombre se repelen y los de nombre contrario se atraen.

C.—Se determinan los polos *N.* y *S.* de la barra suspendida, indicada en el inciso *B* anterior, acercando alternativamente los polos ya determinados de un imán a los extremos de la barra del otro, siendo el polo *S.* el primero y el *N.* el segundo de dicha barra. Las Leyes a que obedecen las atracciones y repulsiones magnéticas, son las siguientes:

1ª—"Polos de igual nombre se repelen, polos de nombre diferente se atraen".

2ª—"La fuerza de atracción o de repulsión entre dos masas magnéticas es directamente proporcional al producto de dichas masas e inversamente al cuadrado de la distancia que las separa."

La acción del globo terrestre puede compararse a la de un imán.

D.—Si se coloca una barra imantada encima de una brújula, de modo que la cruce por la mitad, la aguja del aparato se pondrá paralela a ella, pero con los polos invertidos; esta observación y la orientación que una aguja imantada libre toma de Norte a Sur de la Tierra, han hecho suponer que el globo terrestre obra de manera de imán sobre la aguja de la brújula, colocándose esta con los polos invertidos respecto a los de la tierra.

LINEAS DE FUERZA DE UN IMAN

E.—Si se coloca un imán recto o de herradura encima de una mesa y se cubre con un vidrio, poniéndose encima de éste una hoja de papel blanco y desde cierta altura se espolvorea en él unas pocas de limaduras de hierro y se golpea suavemente en el borde del vidrio, se formará alrededor del imán, el llamado espectro magnético; se pueden obtener diferentes espectros combinando entre sí dos o más imanes.

Examinando dichos espectros se ve que las limaduras de hierro forman filamentos que saliendo de un punto del imán van a parar a un punto que les es simétrico, respecto a la zona neutra. Estos filamentos han recibido el nombre de líneas de fuerza.

FLUJO MAGNETICO

G.—Si se pone una brújula sobre una mesa y se coloca el operador a cierta distancia de ella con una barra imantada en la mano, adelantándose poco a poco, presentando al mismo tiempo uno de los polos a la brújula, se observará que, si el imán es lo suficientemente fuerte, su influencia se manifestará desde una distancia relativamente grande. Este, además, se ejerce a través de la mayoría de los cuerpos magnéticos.

IMANTACION POR INFLUENCIA

Un trozo de hierro colocado en un campo magnético tiene la propiedad de concentrar en su interior las líneas de fuerza de aquél, convirtiéndose en un verdadero imán, propiedad que constituye la llamada permeabilidad magnética; pero cuando la influencia del cuerpo magnético cesa, deja de manifestarse como un imán.

H.—Si se coloca un trozo de hierro enfrente de uno de los polos de un imán, y se espolvorea con limaduras de hierro dicho trozo, se forman haces como un imán cualquiera. Retirando el imán de las cercanías del trozo de hierro, las limaduras se desprenden fácilmente de este último deformándose el espectro del conjunto.

IMAN POR CONTACTO

I.—Si del extremo de un imán se suspende una barrita de hierro, ésta quedará convertida en imán; uniéndose a ésta otra barrita, se imantará igualmente, pero más débilmente que la primera. El número de barritas que se podrá unir es limitado (este fenómeno no explica la formación de haces y filamentos observados en los experimentos anteriores). Separadas del inductor, las barritas perderán sus propiedades magnéticas.

Hay imanes naturales y artificiales. Estos últimos se hacen con barras de acero o con aleaciones, tales como el "alnico", (aluminio, níquel y cobalto). El "alnico" No. 5, es el más moderno y poderoso.

Campo magnético es el espacio en donde se manifiestan las fuerzas de los imanes y de los electroimanes. Se le considera formado por líneas de fuerza que se repelen entre sí y tienden a acortarse. No hay polos separados.

Permeabilidad es "conducción" magnética. Se toma como unidad la del aire.

UNIDADES MAGNETICAS

1 maxwell = 1 línea de fuerza.

1 gauss = 1 maxwell por centímetro cuadrado. (DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO)

1 Weber = 100.000.000 maxwells. $\Rightarrow 1 \text{ wb} = 10^8 \text{ maxwells}$

NOTA: Al final de esta sesión se demostrará en el laboratorio los ejercicios mostrados en los siguientes dibujos.

LINEAS DE CAMPO DE LOS CONDUCTORES

Puesto que la corriente eléctrica da lugar a fenómenos magnéticos, se comprende que el campo que rodea a un conductor debe ser un campo magnético, es decir, está lleno de líneas de fuerza. En el caso de ser el conductor rectilíneo, las líneas son círculos concéntricos alrededor de aquel; lo cual puede hacerse visible al hacer pasar el conductor por una placa perfectamente horizontal, en la que haya limaduras de hierro y también por medio de una aguja magnética que se orienta en todos los puntos, en sentido transversal al conductor. Si el conductor es circular, las líneas de fuerza conservan su forma circular en las inmediaciones de aquel, pero a medida que se apartan de él y se aproximan al centro, se van rectificando más y más. Si el conductor se enrolla en forma de varias espiras, una sobre otra, para formar una bobina, la mayor parte de las líneas de fuerza serán casi rectas, siendo esto tanto más exacto cuanto más larga sea la bobina. Las líneas del campo de una bobina recorrida por una corriente tienen orientación, en la misma forma que las de una barra magnética.

La bobina se comporta también del mismo modo que un imán:

La parte por donde salen las líneas del campo se revela como polo magnético de nombre Norte y atrae un polo Sur. La parte por donde aquellos entran, como magnético de nombre Sur. Una bobina móvil es desviada por un imán.

Al colocar un trozo de hierro en una bobina recorrida por la corriente, se imanta y produce por sí mismo líneas de campo, es decir, refuerza el campo magnético de la bobina.

La dirección del campo magnético producido por una corriente que circula por un conductor rectilíneo se puede determinar explorando el campo con una brújula.

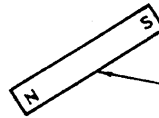
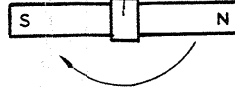
Experimentalmente se comprueba que las líneas del campo magnético que envuelven al conductor tienen el sentido que corresponde a la llamada regla de la mano derecha.

Imán que al quedar en reposo despues de oscilar vuelve a su posición primitiva.

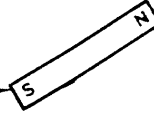


Hilo sujetador

La barra imanada tiende a girar 180°



Iman con polos ya determinados



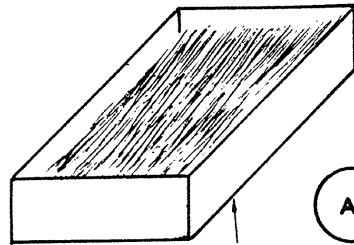
La barra permanece estática

Limadura de Hierro

Imán Sumergido en la limadura de Hierro



En la Zona Neutra no se ejerce ninguna Atraccion

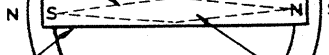


Caja con limadura de hierro.



Aguja de la Brújula

Brújula

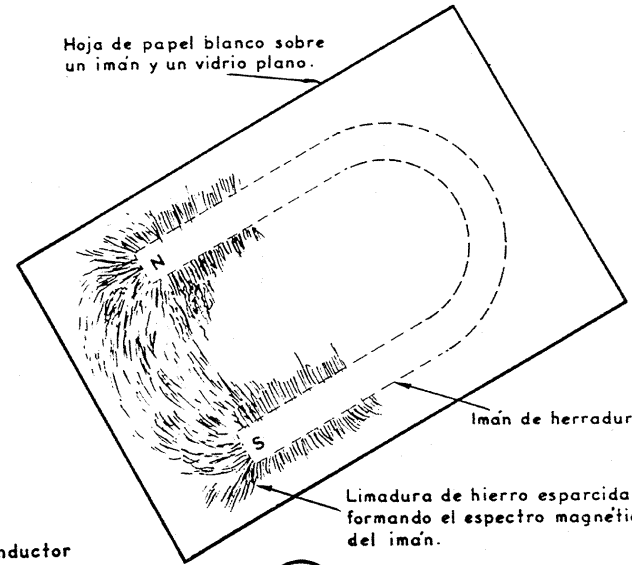


Barra imanada colocada sobre la brújula.

La aguja de la brujula siempre toma la posición de sus polos, invertidos con respecto a los del imán



Hoja de papel blanco sobre un imán y un vidrio plano.

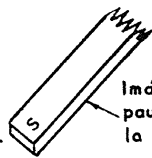


Imán de herradura

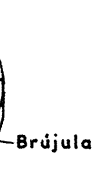
Limadura de hierro esparcida formando el espectro magnético del imán.



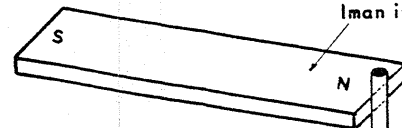
La aguja se altera por la influencia del campo magnético del imán



Imán acercandose paulatinamente a la brújula



Brújula



Iman inductor

Si la separamos del imán inductor las demás pierden sus propiedades magneticas

Barritas de hierro que actuan como imanes por la influencia del inductor.

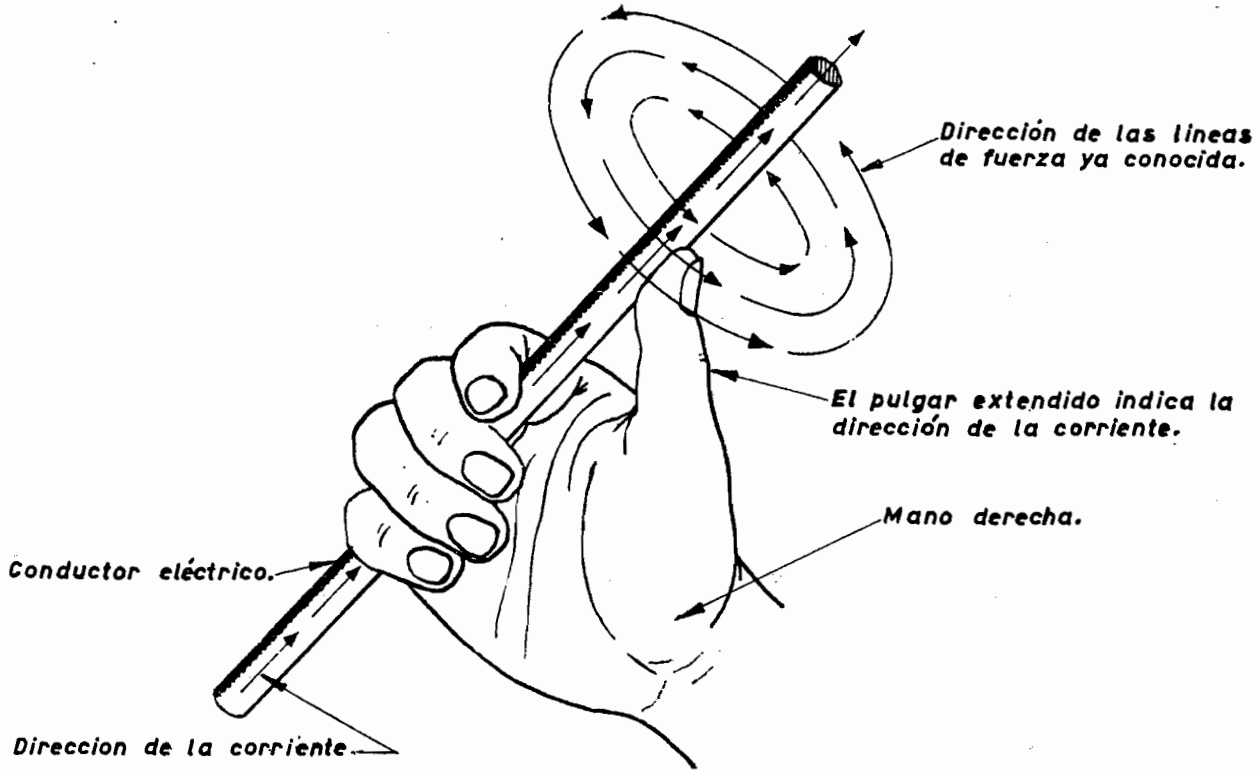
El numero de barritas que se adhieren es limitado.

Esta se adhiere con menor fuerza que la superior



"REGLA DE LA MANO DERECHA"

Abrazando el conductor con la mano derecha alrededor del alambre, los dedos indicarán la dirección del campo magnético y el pulgar extendido indicará la dirección de la corriente. Esta misma regla nos servirá para encontrar la polaridad de una bobina, si tomamos ésta con la mano derecha y con los 4 dedos apuntando en la dirección de la corriente, el pulgar extendido nos indicará la dirección del flujo magnético o polo Norte de la bobina.



Una bobina de alambre, con un núcleo de hierro o acero, se vuelve un "electroimán" al pasar por ella una corriente eléctrica. A la fuerza de un electroimán se le denomina fuerza portante y depende de tres cosas:

- a) Intensidad de la corriente.
- b) Número de vueltas o espiras.
- c) Permeabilidad del núcleo.

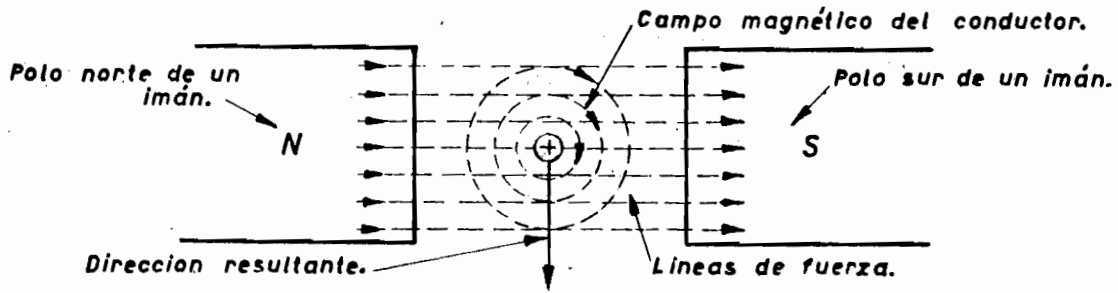
Los dos primeros factores fijan la imantación al multiplicarlos entre sí y se les llama los amper-vueltas del electroimán.

CONDUCTOR EN UN CAMPO MAGNETICO

Al encontrarse un conductor por el que pasa una corriente eléctrica en un campo magnético, como el ilustrado en la siguiente figura, se ejercerá sobre él una fuerza que trata de moverlo. La dirección del movimiento puede determinarse por la misma regla de la mano derecha.

Por el conductor atraviesa una corriente eléctrica que suponemos se aleja de nosotros entrando perpendicularmente a través del campo original producido por los polos N y S de la figura. El paso de la corriente origina a su vez un campo magnético alrededor del conductor que se sobrepone al campo original, de tal manera que lo refuerza en la parte alta del conductor y lo debilita en la parte baja del.

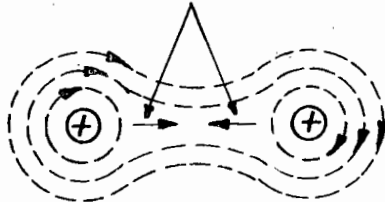
mismo, lo que trae consigo que se ejerza una fuerza sobre el conductor que lo empuja hacia abajo como indica la figura.



Si el conductor en cuestión es uno de los lados de una espira, estando el otro bajo el mismo campo magnético, también se ejercerá sobre el otro lado una fuerza originada también por la acción recíproca del campo original y el campo del conductor, sólo que la fuerza resultante empuja a este lado del conductor hacia arriba, dando lugar entre las dos a un par mecánico que hace girar la espira. Este es el principio de todo electromotor.

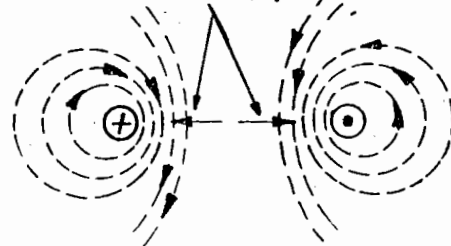
Circunstancias semejantes se presentan también en los "efectos electrodinámicos de la corriente". Con este nombre se entienden los efectos que ejercen entre sí los conductores paralelos, recorridos por una corriente, como los mostrados en la siguiente figura:

Los conductores tienden a acercarse



Corrientes del mismo sentido.

Tienden a separarse



Corriente de sentidos opuestos.

Si tenemos dos conductores paralelos por los que pasa una corriente en el mismo sentido, entre los dos conductores, los campos magnéticos están en oposición y se debilitan, mientras que en el espacio que los envuelve, los campos magnéticos se suman. Estas dos causas combinadas hacen que los conductores tiendan a acercarse.

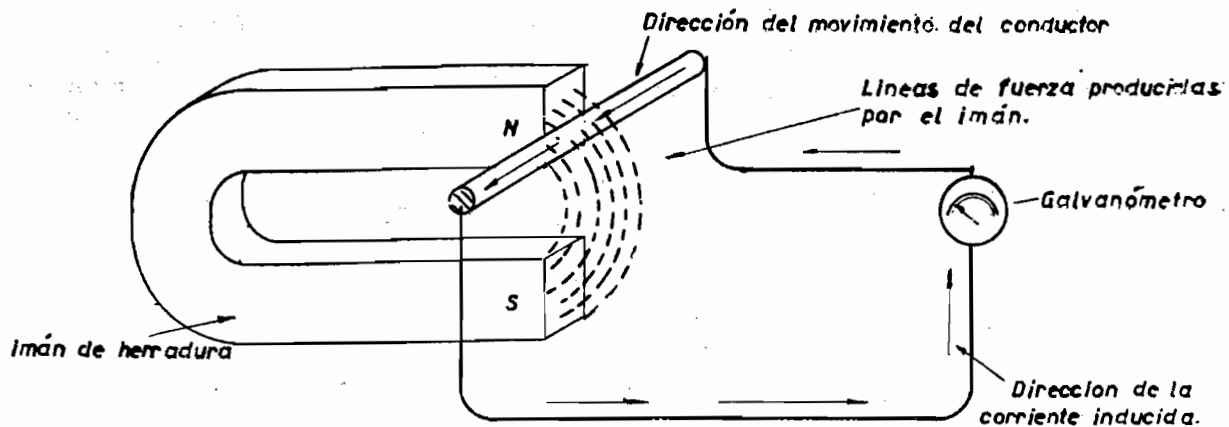
En cambio si tenemos dos conductores paralelos por los que circule corriente en sentidos opuestos, los campos magnéticos se refuerzan entre los dos conductores y se oponen debilitándose en el espacio que envuelve a ambos. Estas dos causas hacen que los conductores tiendan a separarse.

Resumiendo lo anterior podemos decir que las corrientes de igual sentido se atraen, mientras que las corrientes de sentidos contrarios se repelen.

Los conductores cruzados dan lugar a un par de giro que tiende a ponerlos paralelos, de modo que las corrientes sean en ambos del mismo sentido.

En esto se fundan los electrodinamómetros y los wáttmetros, en los que dos bobinas, una fija y otra móvil, son perpendiculares entre sí en su primera posición y tienden a ponerse paralelas en el momento en que por ellas pasa una corriente. En el electrodinamómetro, que sirve como amperímetro, las dos bobinas están conectadas en serie y por las dos pasa la misma corriente, con lo cual el par de giro que se produce es proporcional al cuadrado de la corriente que pasa.

FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA



En el año de 1831, dos hombres de ciencia, Faraday y Henry, descubrieron separadamente que era posible producir electricidad mediante el magnetismo, pues hasta entonces las acciones químicas y el frotamiento eran los únicos medios por los que se había logrado. Descubrieron que moviendo un conductor a través del campo magnético que forman los polos opuestos de un imán, cortando las líneas de fuerza como indica la figura, se desarrollaba por inducción una fuerza electromotriz en el conductor, a ésta le llamamos fuerza electromotriz inducida.

Se puede demostrar lo anterior conectando los extremos del conductor a un galvanómetro, el cual nos indicará el paso de una pequeña cantidad de corriente, a la cual se le llama corriente inducida.

La *f.e.m.*, generada es mayor cuando el conductor corta las líneas de fuerza perpendicularmente. Si el conductor se mueve paralelamente a las líneas de fuerza, no hay *f.e.m.*, inducida.

Invirtiéndose ya sea la dirección del movimiento del conductor, o bien, la dirección del flujo magnético, se obtendrá como resultado la inversión de la dirección de la corriente generada en el conductor.

El valor o magnitud de la *f.e.m.*, inducida se determina por los siguientes factores:

- 1º—Intensidad del campo magnético.
- 2º—Longitud activa del conductor o conductores, o sea el conductor o los conductores que cortan las líneas de dicho campo.
- 3º—Velocidad con que el conductor o conductores cortan las líneas de fuerza del campo magnético.

GENERACION MECANICA DE LA CORRIENTE ELECTRICA.

El generador eléctrico es una máquina que convierte la energía mecánica en energía eléctrica, y ya hemos visto que para producir una corriente eléctrica son necesarias tres cosas:

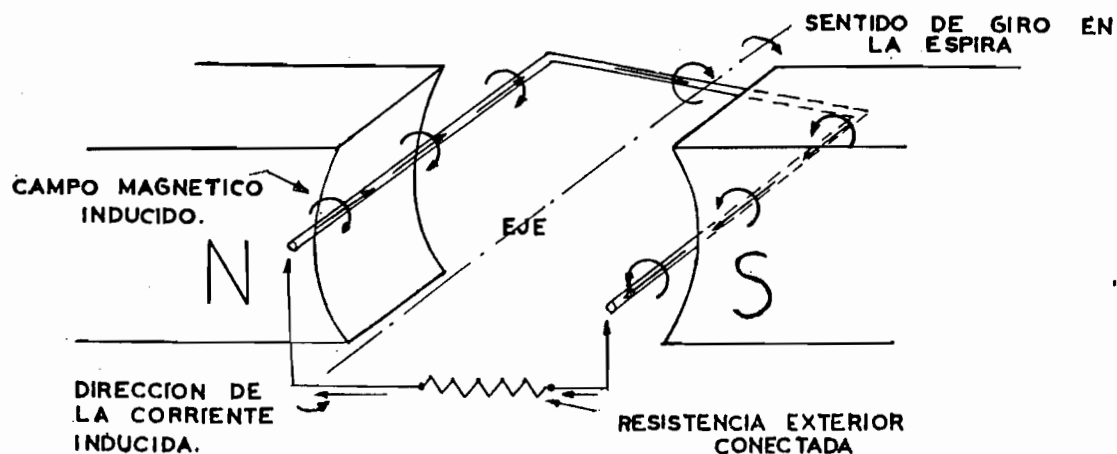
- 1ª—Un conductor de circuito cerrado.
- 2ª—Un campo magnético.
- 3ª—Movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético.

Si una bobina colocada en un campo magnético, es decir, en un espacio en el cual hay fuerzas magnéticas, se hace móvil, de modo que el número de líneas de campo que las atraviesan varíe; se origina en ella una *f.e.m.* Ahora bien, un generador tiene cierto número de bobinas que, unidas entre sí de distintos modos, van colocadas sobre un anillo o un tambor. Esta parte de la máquina llamada inducido, gira entre unos polos magnéticos. Si suponemos que el número de éstos sea dos, la máquina se llama bipolar; entonces en cada revolución, cada bobina estará dos veces en una posición paralela a la superficie de los polos, atravesándole todo el flujo por la mitad, según que el inducido sea en tambor o en anillo. Las fuerzas electromotrices producidas en cada mitad del inducido correspondiente a un polo tie-

nen un mismo sentido; sumándose, como ocurre con los elementos de una batería conectados en serie, mientras que las fuerzas electromotrices totales de cada mitad de inducido están conectadas como 2 bobinas en paralelo. En resumen, la fuerza electromotriz del inducido es igual a la suma de las fuerzas electromotrices de una mitad del mismo. Las espiras del inducido están unidas por medio de dos chapas metálicas o pares de carbones, llamadas escobillas, al circuito exterior, a lo largo del cual se compensan las diferencias de potencial, originándose en él una corriente. Las escobillas rozan sobre el colector, un elemento de la máquina compuesto de piezas metálicas llamadas delgas, montadas sobre el eje de aquella, estando unidas cada una de las delgas a las dos bobinas más próximas.

Para crear un campo magnético se emplean sólo en raros casos imanes permanentes; así ocurre en los magnetos para automóviles y en ciertos instrumentos de manivela. Estas máquinas tienen el inconveniente de no poder variar la intensidad del campo magnético, con lo cual la regulación de la *f.e.m.* sólo puede lograrse variando el número de revoluciones del inducido. Para evitar esto se emplean electroimanes formados por piezas de hierro, sobre las que van enrolladas un cierto número de espiras; al pasar por éstas una corriente, se hacen magnéticas las piezas de hierro, como ya hemos visto al hablar de los efectos de la corriente. Variando esta corriente, por medio de una resistencia, varía también el flujo y con él la *f.e.m.*, la regulación hecha variando la velocidad de giro sería en este caso más incompleta o sólo posible dentro de muy estrechos límites.

Cuando la corriente que circula por un enrollamiento inductor se toma de una fuente de energía especial, por ejemplo de una batería de acumuladores, se denomina la máquina de excitación independiente; las máquinas con excitación propia, son las que la misma corriente generada por la máquina se utiliza para auto-excitarse. Entonces se pueden emplear distintas conexiones, según las cuales las máquinas se dividen en máquinas con excitación en serie, máquinas con excitación en paralelo y en máquinas con excitación mixta o "Compound".



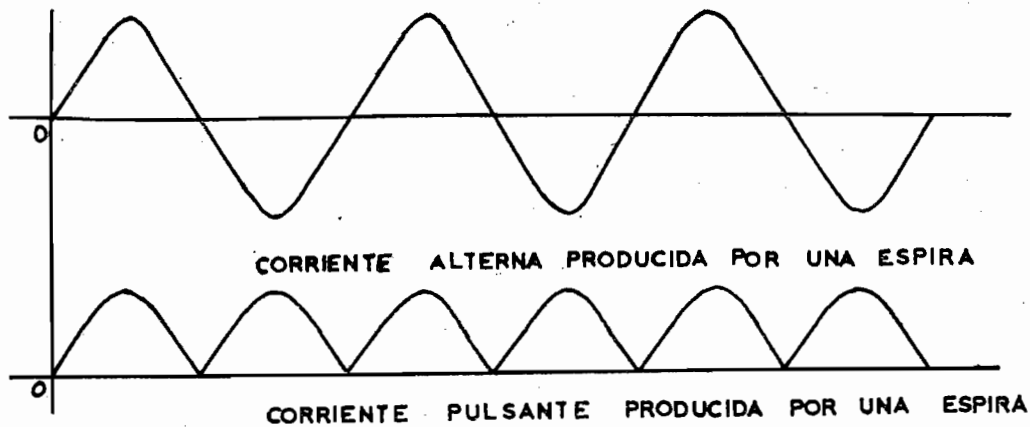
Si una espira como la de la figura, se mueve en el sentido indicado, pero con su circuito abierto, se produce por inducción una fuerza electromotriz entre los extremos abiertos de la misma. La energía mecánica necesaria para mover la espira es la que se requiere para vencer la resistencia mecánica que la espira encuentre al moverse en el aire.

Al cerrar el circuito de la espira, la *f.e.m.*, inducida hace pasar una corriente por la misma, en un sentido tal que el campo magnético que la acompaña (campo inducido) se opone al movimiento, reforzando las líneas del campo enfrente del conductor en movimiento, al mismo tiempo que las debilita detrás del mismo.

La energía mecánica necesaria para mover la espira es mayor. Además de vencer los frotamientos, se tiene que ir en contra de la acción mutua de los dos campos magnéticos. El inductor (el de los imanes) y el inducido (el de la espira). Si aumentamos la velocidad de rotación de la espira, aumentará el valor de la *f.e.m.* inducida y por lo tanto el valor de la corriente que circula por la espira. Como consecuencia se refuerza el campo inducido, lo que tiende a enfrenar más la espira.

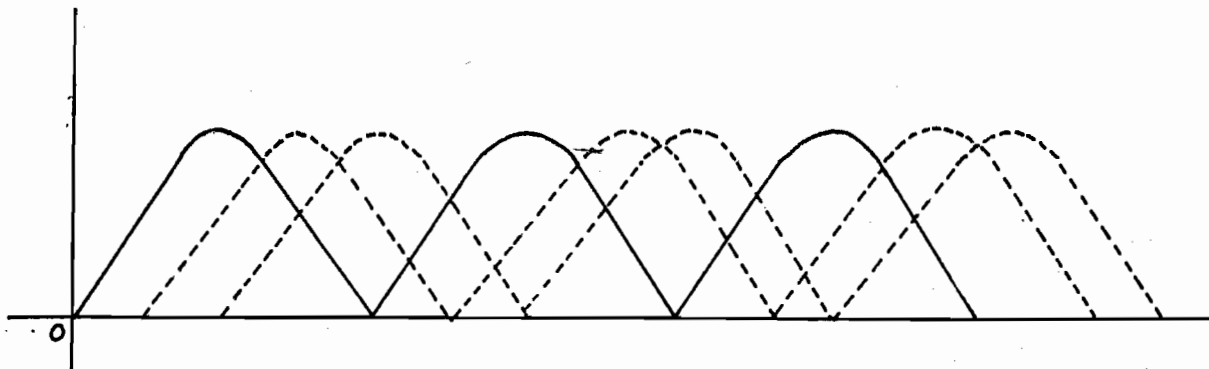
De esta manera, la energía mecánica que se consume moviendo la espira, es transformada en corriente eléctrica, a un voltaje dado por la *f.e.m.*, inducida.

Si conectamos los extremos de la espira anterior a un circuito exterior, a través de anillos, por este circuito exterior circulará una corriente alterna, cuya periodicidad dependerá del número de revoluciones por segundo de la espira.



En cambio si el circuito exterior lo conectamos a la espira a través de escobillas fijas que rocen a dos segmentos aislados a los que vayan conectados permanentemente los extremos de la espira, tendremos una corriente eléctrica pulsante pero dirigida en el mismo sentido.

Si en lugar de tratarse de una sola espira tenemos varias, sus efectos pueden sumarse de tal manera que produzcan ya no una corriente pulsante sino una corriente prácticamente continua.



CORRIENTE CONTINUA PRODUCIDA POR VARIAS ESPIRAS CONECTADAS EN SERIE

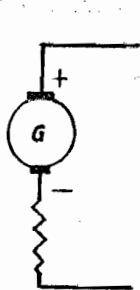
Al conjunto de espiras conectadas entre sí, se llama enrollamiento.

En las máquinas series toda la corriente que sale del inducido se hace pasar por las espiras de los electroimanes, para después seguir el circuito exterior. Por consiguiente el inducido, el inductor y el circuito exterior están unidos en serie.

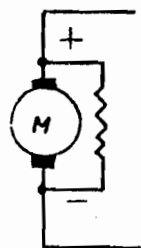
En las máquinas derivación, se deriva de las escobillas una corriente parcial que ha de circular por el enrollamiento inductor, estando este conectado en paralelo con el circuito exterior. El enrollamiento inductor se compone en estas máquinas de muchas espiras de hilo fino, con lo cual su resistencia es grande y la corriente de excitación pequeña, aproximadamente 1/20 de la útil, siendo las pérdidas por tanto muy pequeñas.

En las máquinas Compound o con excitación mixta, la diferencia de potenciales se mantiene constante enrollando sobre los imanes no sólo un enrollamiento en derivación compuesto de muchas,

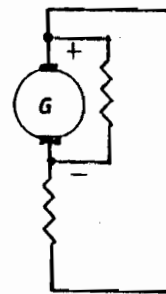
espiras de hilo fino, sino también un enrollamiento en serie. En las máquinas de excitación mixta son posibles dos tipos de conexiones, la primera conexión se designa con el nombre de derivación corta y la segunda con el de derivación larga.



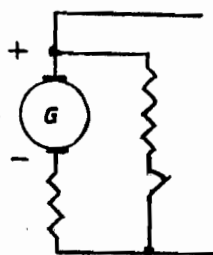
Generador Serie



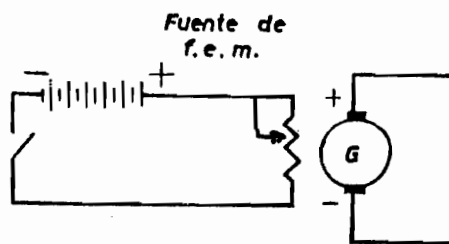
Motor Derivación



Máquina de Excitación Mixta
Derivación Corta.



Máquina de Excitación Mixta
Derivación Larga.



Máquina de Excitación por Separado

Las máquinas de corriente continua se pueden utilizar indistintamente como generadores y como motores, ya que su constitución en ambos casos sería la misma. Al circular por el enrollamiento inductor y por el enrollamiento del inducido de una máquina de corriente continua, una corriente eléctrica que origine fuerzas magnéticas de una intensidad suficiente para ponerla en movimiento, de tal modo que pueda rendir un trabajo, la máquina funciona como motor.

Toda máquina de corriente continua puede utilizarse como motor, con las mismas condiciones de distribución de corriente y tensión que se presentan en el caso de su funcionamiento como generador. Por ejemplo: una máquina funcionando como generador de 110 V. y 300 A., puede conectarse para funcionar como motor, a una red de 110 V. y cargarse hasta una intensidad de 300 A.

Al girar el inducido de un electromotor entre los polos inductores, se inducen en sus conductores fuerzas electromotrices, lo mismo que en el caso del generador, pero ahora dirigidas en sentido contrario a la tensión en los bornes, produciéndose por consiguiente una debilitación de la corriente. A esta fuerza contraria a la electromotriz se le denomina *fuerza contraelectromotriz* y se le representa siempre por E_c , o (f.c.e.m.). Esta fuerza regula el consumo de corriente del motor y determina su velocidad de giro.

Como en el momento del arranque la fuerza contra-electromotriz es nula, el motor tomaría mucha corriente, para evitar esto se intercala una resistencia de arranque cuyo valor se disminuye al aumentar la velocidad quedando por último fuera del circuito.

Los electromotores pueden también conectarse con excitación en serie, en derivación y mixtos.

Al cargarse un motor que marcha en vacío, o al aumentar la carga, disminuye el número de revoluciones y, en consecuencia, la fuerza contraelectromotriz, aumentando la intensidad de la corriente hasta que se restablece nuevamente el equilibrio entre el par producido por el motor y el opuesto por la carga. Si el campo magnético permanece constante la velocidad de giro varía en la misma relación que E_c . De aquí deducimos que a excitación constante, la velocidad de giro es proporcional a la f.c.e.m.

Si variamos la excitación del motor, cambiará también su número de revoluciones. Al debilitarse el campo E_c disminuye transitoriamente, produciéndose una elevación de la intensidad de la corriente, en consecuencia el número de revoluciones será mayor, E_c aumentará de nuevo disminuyendo la corriente hasta llegar a la intensidad suficiente para vencer la carga; inversamente al reforzar la excitación, la velocidad de giro disminuye. Por consiguiente, la variación de la excitación ofrece un medio muy cómodo de variar la velocidad del motor. De aquí deducimos que debilitando el campo magnético se eleva la velocidad, mientras que ésta disminuye al reforzar la excitación.

Si un motor serie, como es el caso de los motores de tracción de una locomotora Diesel, se carga demasiado, disminuye su velocidad creciendo la corriente que circula por el enrollamiento inductor, lo cual da lugar a intensificar la excitación, produciéndose en consecuencia una nueva disminución del número de sus revoluciones. Se ve pues que la velocidad de un motor serie depende en su mayor parte de la carga, cosa que no ocurre en un motor derivación cuya corriente de excitación es independiente de la carga. El motor serie tiene la ventaja de que su par es mucho mayor a pequeñas velocidades, como por ejemplo en el arranque. Por esta razón se emplea con preferencia en aquellas instalaciones en que se ha de poner en movimiento una gran masa, no siendo necesario un movimiento uniforme como por ejemplo en locomotoras Diesel, locomotoras eléctricas, elevadores, etc.

EJEMPLO:

Una máquina-serie cuya resistencia de inducido es $R_i = 0.12 \Omega$, y del inductor $R_s = 0.084 \Omega$, se conecta a una línea de 440 v. ¿Qué corriente consume en carga, si la f.c.e.m. del inducido es de 424 V.? ¿Cuál es la resistencia de arranque R_A necesaria, suponiendo que la corriente en el arranque sea doble que en carga?

$$I = \frac{U_b - E_c}{R_i + R_s} = \frac{440 - 424}{0.12 + 0.084} = \frac{16}{0.204} = 78.4 \text{ A.} \checkmark$$

Puesto que en el momento del arranque la fuerza contraelectromotriz es $E_c = 0$, se debe tener $U_b = I_A(R_i + R_s + R_A)$, de donde $R_A = \frac{U_b}{I_A} - (R_i + R_s)$ en donde $I_A = 2 \times I = 156.8 \text{ A}$. Para la resistencia de arranque se obtiene, pues

$$R_A = \frac{440}{156.8} - 0.204 = 2.6 \Omega \checkmark$$

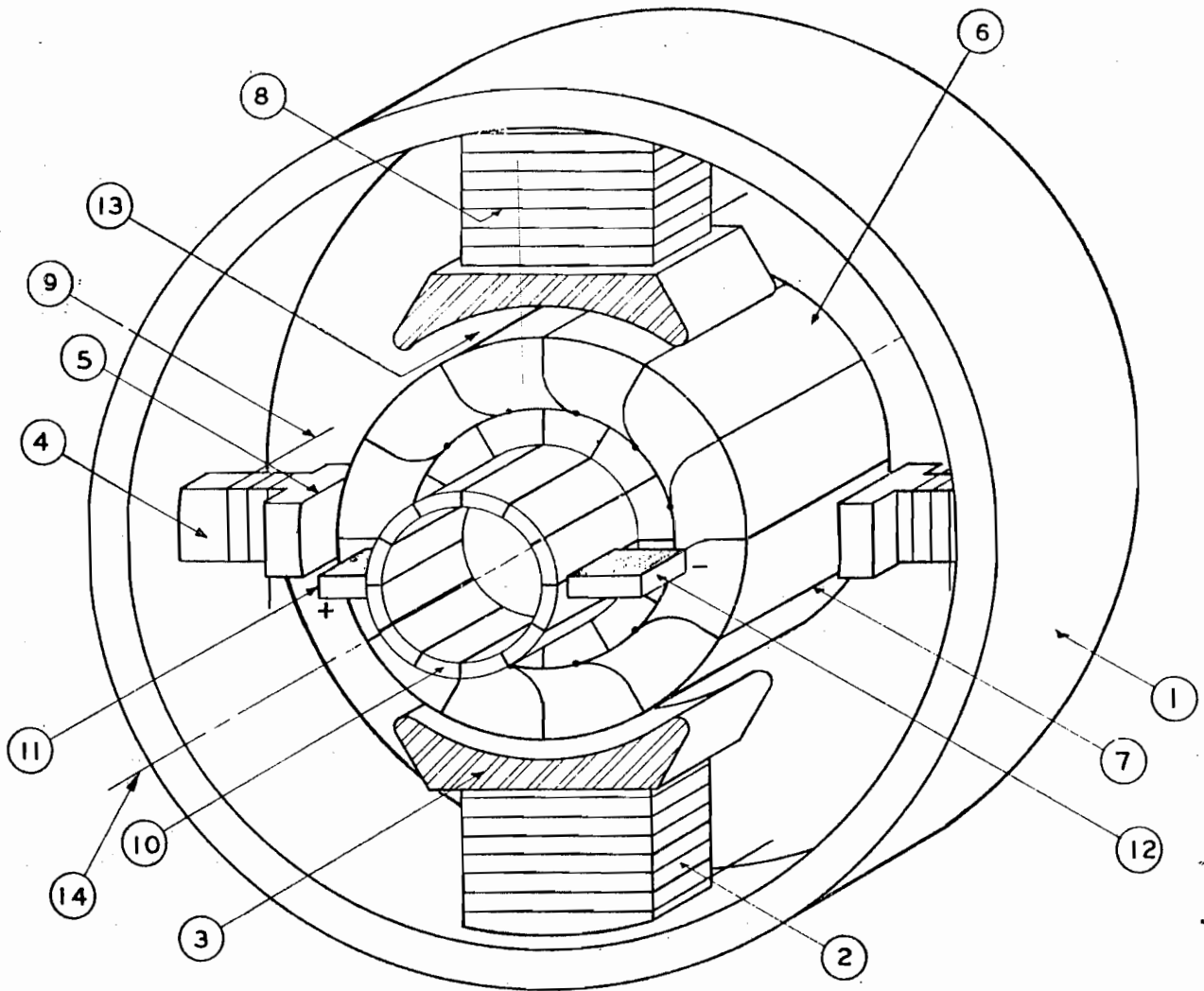
Al final de esta sesión se efectuarán unas prácticas de laboratorio sobre máquinas de corriente continua.

CONSTITUCION DE LAS MAQUINAS DE C. C.

Véase la figura.

Las máquinas de corriente continua se constituyen básicamente de las siguientes piezas:

- 1.—Culata o carcaza
 - 2.—Núcleo polar
 - 3.—Pieza polar
 - 4.—Núcleo polar
 - 5.—Pieza polar
 - 6.—Núcleo del inducido
 - 7.—Inducido, enrollamiento o devanado del mismo
 - 8.—Devanado de excitación
 - 9.—Devanado del polo de conmutación
 - 10.—Conmutador o colector
 - 11.—Escobilla positiva
 - 12.—Escobilla negativa
 - 13.—Entrehierro
 - 14.—Eje
- } Polo inductor
- } Polo auxiliar de conmutación
- } Escobillas



PARTES DE UNA MAQUINA DE C.C.

Las piezas numeradas anteriormente forman las 2 partes principales de la máquina; nombradas de la siguiente manera:

Inductor o estator e inducido, rotor o armadura.

DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA MAQUINA DE C.C.

INDUCTOR o ESTATOR.—En él van las siguientes partes:

- 1.—*Culata o carcaza.* Es la parte que envuelve el inducido.
- 2.—*Polos principales.* Están formados por el núcleo polar alrededor del cual está dispuesto el enrollamiento de excitación. La parte más cercana al inducido se llama pieza polar y la parte del núcleo opuesta a la pieza polar, raíz.

Como los polos no están sometidos a ciclos de imantación, pueden ser macizos, construyéndose de acero fundido o de hierro dulce.

- 3.—*Polos de conmutación.* Están constituidos esencialmente de las mismas piezas que los polos principales.

- 4.—*Devanados de excitación.* Son aquellos que están situados sobre los núcleos y las piezas polares, se dividen en tres grupos:

Devanados de los polos principales,
Devanados de los polos de conmutación,
Devanados de los polos de compensación.

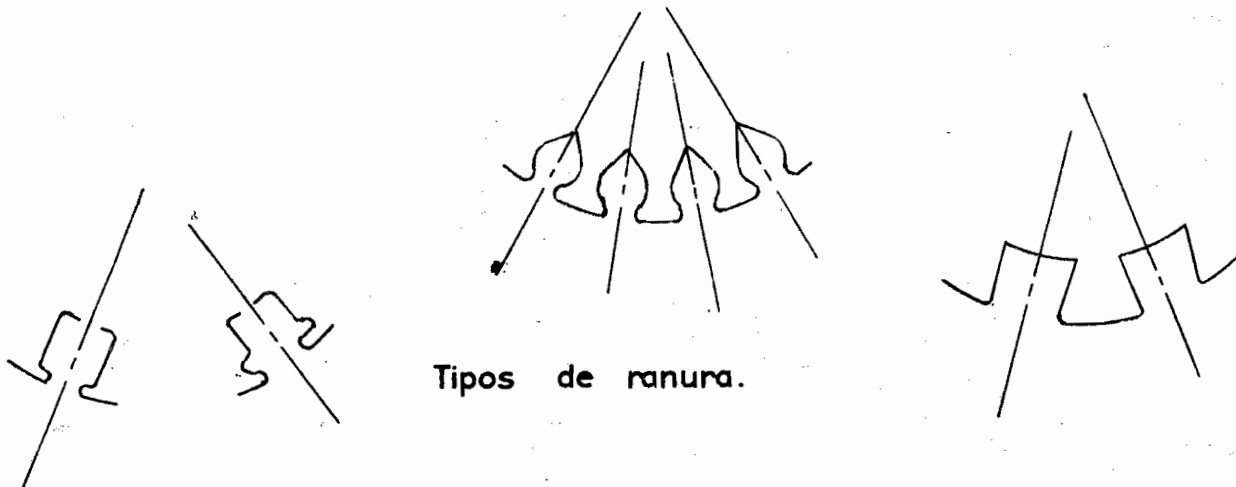
INDUCIDO, ROTOR o ARMADURA

En él van las siguientes piezas:

- 10.—El eje, que está apoyado sobre chumaceras o cojinetes y en el cual están:

a) *Inducido o núcleo.* Está laminado, es decir, formado por muchas chapas para reducir las pérdidas que se producen, ya sea por histéresis y por las corrientes parásitas que de otra manera podrían alcanzar un valor demasiado elevado.

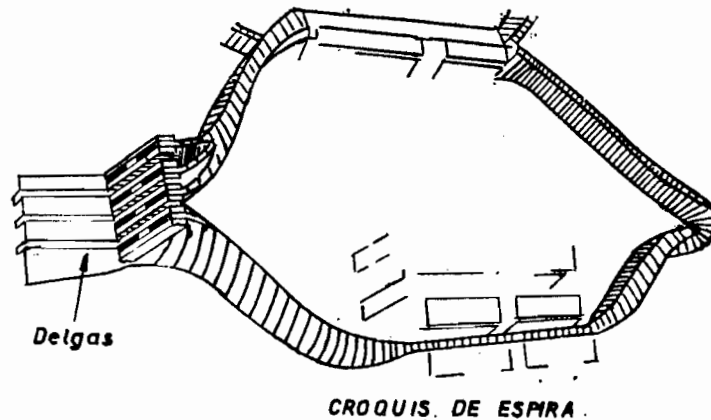
b) *En la periferia del inducido van las ranuras donde se colocan las espiras que generan la f.e.m.* Algunas veces las ranuras van ligeramente desviadas, para que el corte del campo magnético sea uniforme. Las ranuras se hacen como se muestra en las figuras siguientes, para impedir que los conductores sean despedidos hacia afuera del inducido por la fuerza centrífuga que se desarrolla en la máquina al moverse ésta.



c) *Espiras o bobinas*. Están sobre las ranuras del inducido, en ellas se generan la f.e.m. inducida: están formadas por conductores de cobre y se enrollan sobre el inducido en dos formas:

1o.—Tipo anillo.

2o.—Tipo tambor.



CROQUIS DE ESPIRA

d) *Colector o conmutador*. Está formado por varias láminas aisladas entre sí, llamadas delgas que forman un cilindro, el colector y el inducido forman una sola pieza.

e) *Escobillas*. Son las que recogen la f.e.m. inducida, rozando a presión sobre el colector; generalmente son de carbón y están conectadas y soportadas por los anillos del contacto o portaescobillas.

f) *Entrehierro*. Es el espacio libre que hay entre el rotor y el estator.

CORRIENTE ALTERNA

Prácticamente toda la energía que adquirimos de las Compañías de Luz para ser usada en los hogares o las fábricas la recibimos en forma de corriente alterna; ésta tiene muchas ventajas sobre la corriente continua, aunque en varios aspectos la continua es superior. La principal ventaja de la corriente alterna consiste en la facilidad con que puede cambiarse el valor de su voltaje.

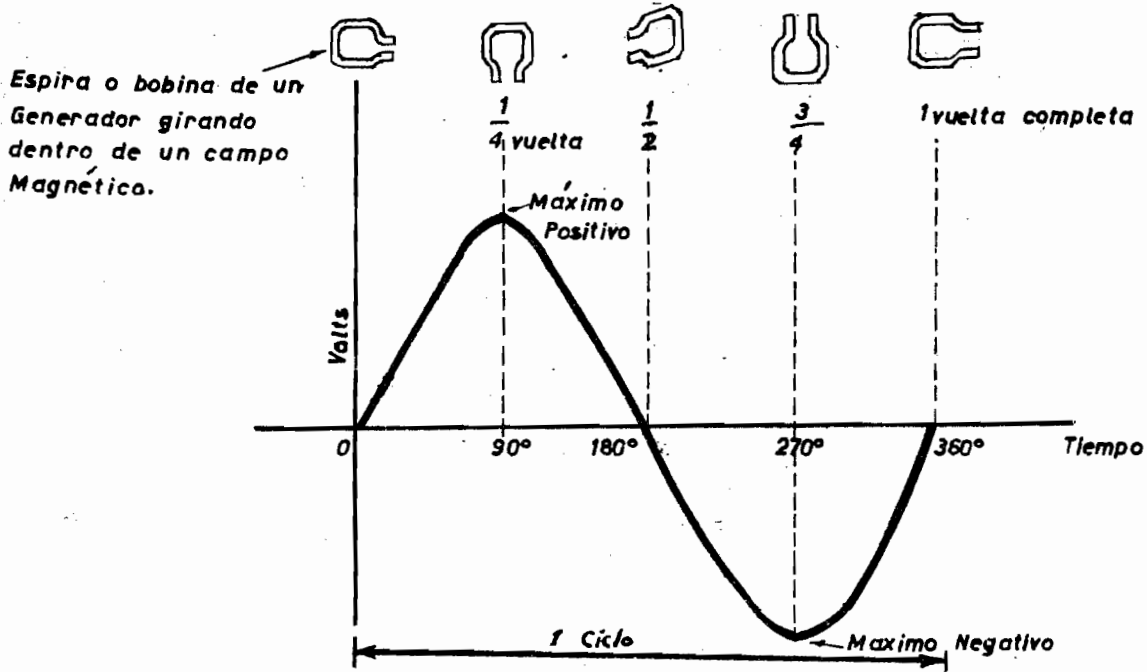
En las grandes plantas generadoras o centrales eléctricas, se produce la energía eléctrica por medio de máquinas cuyo voltaje terminal oscila entre 6,000 y 14,000 volts; si esa energía se destina a una ciudad que esté a varios kilómetros de distancia de la central, se cambia su voltaje en bancos de transformadores que lo aumentan, transmitiéndose la misma cantidad de energía, con menor corriente y mayor voltaje. Por esta razón, la pérdida en los conductores de gran longitud es menor que si se intentara transmitirla a un voltaje más bajo. En el extremo final de la línea de transmisión generalmente se reduce el voltaje por medio de transformadores, para ser distribuida en nuestras ciudades. Los transformadores que aparecen sobre los postes reducen todavía más el voltaje para ser usado en nuestras casas.

LA ONDA SENOIDAL DE C. A.

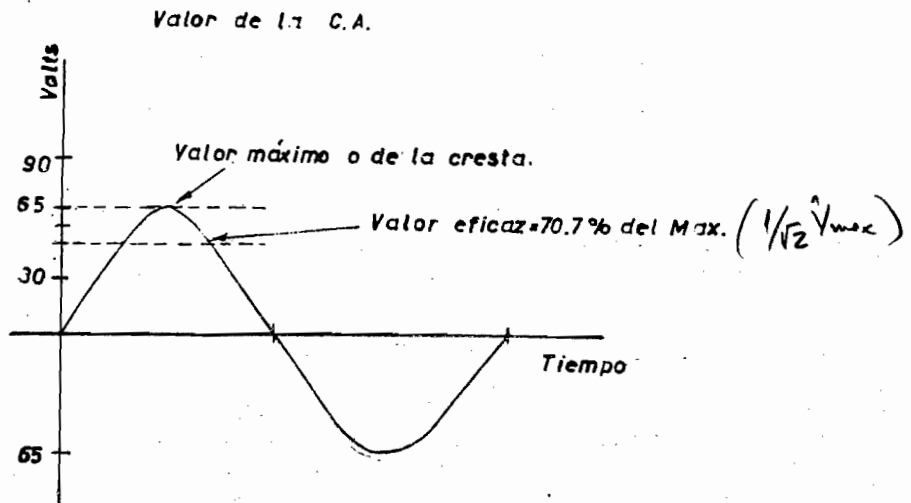
En los circuitos de C. A., el voltaje y la corriente están cambiando constantemente de magnitud y de dirección, en casi todos los generadores de C.A., la pauta del cambio que se encuentra, es la que corresponde a una "Onda Senoidal", así llamada debido a su estrecha relación con las funciones seno y coseno de trigonometría.

Examinemos el voltaje que encontramos en las terminales de un generador de C. A. que opere con una frecuencia de un ciclo por segundo.

La curva resultante de la f.e.m. inducida en la espira en una vuelta completa cortando un campo magnético toma la forma mostrada. El tiempo que se necesita para que la curva de voltaje o de corriente pase por una oscilación completa, primero positiva y luego negativa, determina la "frecuencia" del circuito. En los circuitos eléctricos de las fábricas o de los hogares que nos son familiares, se



necesita 1/60 de segundo para esta oscilación, por lo tanto, se suceden 60 de estos ciclos en un segundo, o decimos que la frecuencia del circuito es de 60 ciclos; hay también circuitos de mayor frecuencia, como en los receptores y transmisores de radio de millones de ciclos o megaciclos; en nuestras locomotoras Diesel eléctricas como la Alco, hay en el circuito de excitación del generador principal un grupo M-G de 400 ciclos, en la locomotora EMD, el alternador del sistema de enfriamiento tiene una frecuencia máxima de $106\frac{2}{3}$ ciclos y $111\frac{1}{3}$ ciclos; un kilociclo es igual a 1,000 ciclos.



VALOR MAXIMO

En la figura anterior advertimos que la onda de corriente tiene diversos valores encontrándose todos entre un máximo positivo y un máximo negativo, ambos de igual valor absoluto. Al valor máximo se llama también de cresta de corriente.

VALOR MEDIO

Ya que para todos los valores de polaridad positiva existe un punto semejante de polaridad negativa, es evidente que el valor medio de la onda es cero, por lo tanto, no tiene éste significación especial para nosotros.

VALOR EFICAZ

Supongamos una resistencia conectada a un circuito de C. A. El voltaje y la corriente que recibe la resistencia están fluctuando constantemente por lo que la potencia entregada varía en cada momento. En un tiempo dado, digamos de 1 minuto, la resistencia recibe una determinada cantidad de energía eléctrica que se transforma en calor. Se llama valor eficaz de la corriente alterna, al valor de una corriente continua que pasando por la misma resistencia durante el mismo tiempo, produjera la misma entrega de energía eléctrica o sea, produjera el mismo calentamiento que la C. A. que en realidad está circulando. ✓

VALOR EFICAZ DEL VOLTAJE ALTERNO

La corriente alterna es producida por una f.e.m. alterna inducida por el campo inductor de un generador. De tal manera que a la onda de voltaje corresponde en cada ciclo la onda de corriente. Los generadores industriales producen una onda de voltaje prácticamente senoidal, por lo que la corriente generada es también prácticamente senoidal. Se toma como valor eficaz del voltaje alterno, el valor de un voltaje continuo capaz de producir la corriente eficaz.

Se ha demostrado que el valor eficaz de una onda de C. A. es el 70.7% del valor máximo, así que:

Valor eficaz de la corriente o del voltaje alterno es igual al 70.7% del valor máximo. Entonces: el valor máximo es igual al 141% del valor eficaz. $(V_{\text{máx}} = \sqrt{2} \times V_{\text{ef}})$

Los voltímetros y amperímetros de C. A., de los tipos más usuales tienen sus escalas en términos de los valores eficaces. En esta forma podemos usar lecturas de corriente y de voltaje en muchos circuitos de C. A. de un modo exactamente igual al empleado en los circuitos de C. C.

EJEMPLOS:

1o.—Una onda senoidal de corriente tiene un valor máximo o de cresta de 40 amperes, ¿cuál es el valor eficaz de esta onda?

Tenemos que: Valor eficaz = 70.7% del valor máximo, substituyendo nuestros datos, valor eficaz = $0.707 \times 40 = 28.28$ amperes.

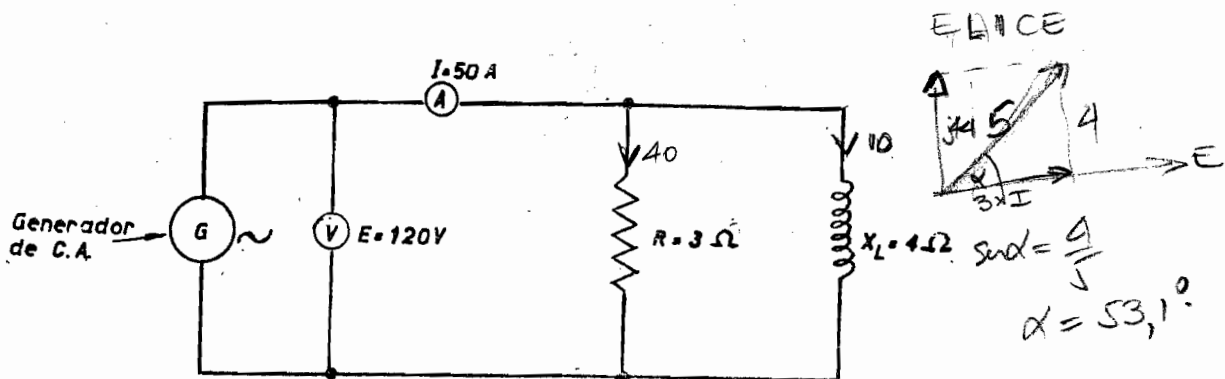
2o.—El valor eficaz del voltaje de C. A. usado en el hogar, es de 115 volts, ¿cuál es el valor de cresta de este voltaje?

Valor de cresta = 141% del valor eficaz, así que, valor de cresta $1.41 \times 115 = 162.15$ volts.

Hemos visto que existen diversas formas en que pueden acoplarse las resistencias a un circuito de corriente continua, las diferentes distribuciones de los circuitos de C. A. son aún más numerosas, debido a que a más de resistencia tenemos también que considerar la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva; como las características de estos tres elementos del circuito son radicalmente diferentes, pueden observarse efectos muy interesantes y sorprendentes en los circuitos de C. A.

Una de las distribuciones más comunes que se encuentran es el acoplamiento en paralelo de dos o más dispositivos. En los circuitos de alumbrado de nuestros hogares, las luces, los motores y otros

aparatos están recibiendo el mismo voltaje: en la siguiente figura ilustraremos un circuito de este tipo, en el que están conectados en paralelo una resistencia $R = 3 \Omega$ y una reactancia inductiva $X_L = 4 \Omega$ a una fuente de C. A. de 120 V.



Si se tratara de un circuito de C.C., encontraríamos que la corriente total que fluye por el circuito sería $I = 70$ amperes, pero como es un circuito de C.A., resulta que la corriente que circula no es la misma que la que encontramos, sino que es diferente, en este caso $I = 50$ amperes. Todo lo anterior se debe a que en los circuitos de C.A., entran en juego otras magnitudes que no mencionamos en C.C. tales como "fase", "ángulo de fase", "suma vectorial", etc.; si nuestros conocimientos sobre los circuitos eléctricos se redujeran a lo que hemos aprendido en la sesión de C.C., podríamos pensar que la energía entregada por el generador de C.A. se obtendría multiplicando el voltaje por la corriente que fluye de las terminales del generador, pero en C.A. no es así debido a que hay otro factor que interviene, denominado "Factor de Potencia".

El producto de multiplicar la corriente por el voltaje sin tomar en consideración el ángulo que forman esas dos magnitudes, se denomina "Potencia Aparente"; se expresa en volts-amperes y tenemos que 1,000 volts-amperes = 1 Kva. Ahora, si a los volts-amperios de un circuito de C. A. los multiplicamos por su factor de potencia, obtendremos la potencia del circuito, la cual se mide con otras unidades llamadas "Watts", así que:

$$\begin{aligned} \text{Volts-Amperes} \times \text{Factor de Potencia} &= \text{Watts, y} \\ 1000 \text{ Watt} &= 1 \text{ Kilowatt,} \\ 746 \text{ Watts} &= 1 \text{ Caballo de Potencia o H.P.} \\ 736 \text{ Watts} &= 1 \text{ Caballo de Vapor.} \end{aligned}$$

Así es que conociendo la potencia aparente y la potencia de un circuito, la relación entre las dos nos da el factor de potencia del mismo, así es que:

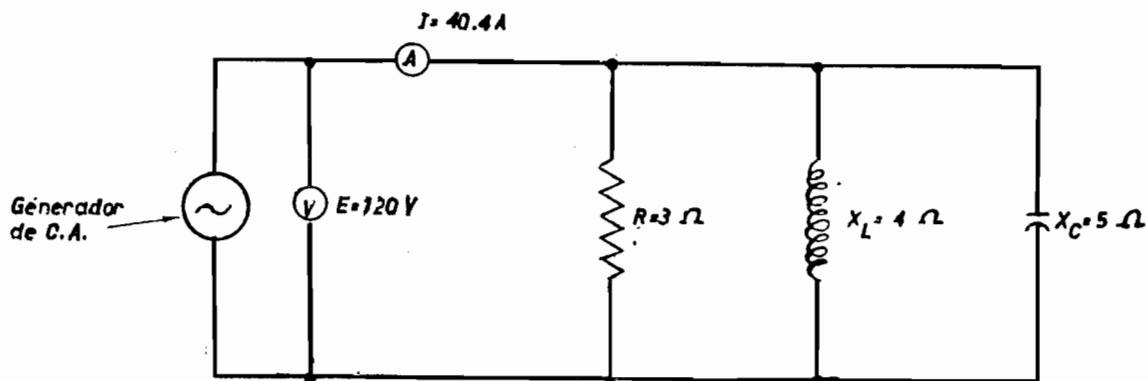
$$\text{Factor de Potencia} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Potencia aparente}} = \frac{\text{Watts}}{\text{Volts-Amperes}} = \frac{\text{K.W.}}{\text{Kva.}}$$

El factor de potencia nunca es mayor que la unidad y cuando tenemos que vale 1, vemos que los $\text{Kva} = \text{Kw}$ y;

$$1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampere} = 1 \text{ Watt, unidad de potencia eléctrica.}$$

Cuando en un circuito de C.A. existe un factor de potencia bajo (normalmente su valor debe oscilar entre 0.8 y 1.00) se procura corregirlo y esto se hace agregando un condensador, que en C.A. se dice que actúa como reactancia capacitiva medida en Ohms.

En el ejemplo de la figura anterior, vamos a agregar un condensador en paralelo, cuya reactancia capacitiva es, por ejemplo: $X_c = 5 \Omega$.



Vemos con sorpresa ahora, que la corriente que fluye por el circuito vale ahora $I = 40.4$ Amperes a pesar de haber agregado otro aparato más. Lo que en realidad sucede es que disminuye el ángulo de separación entre el voltaje y la corriente y por consiguiente el factor de potencia aumenta.

NOTA: Al final de esta sesión de Corriente Alterna, se hará una demostración de lo anterior en el Laboratorio.

IMPEDANCIA

La relación entre el voltaje de la carga y la corriente total se denomina en C. A. "IMPEDANCIA" de la carga o "Resistencia aparente" y se denota con la letra Z , midiéndose en Ohms.

$$\text{Impedancia} = Z = \frac{E}{I} \dots \Omega$$

Notamos inmediatamente que la ecuación o fórmula anterior es muy semejante a la fórmula que nos da la resistencia en C.C. de acuerdo con la Ley de Ohm, y efectivamente la impedancia toma el lugar de la resistencia en C.A., por lo que la Ley de Ohm queda expresada de la siguiente manera:

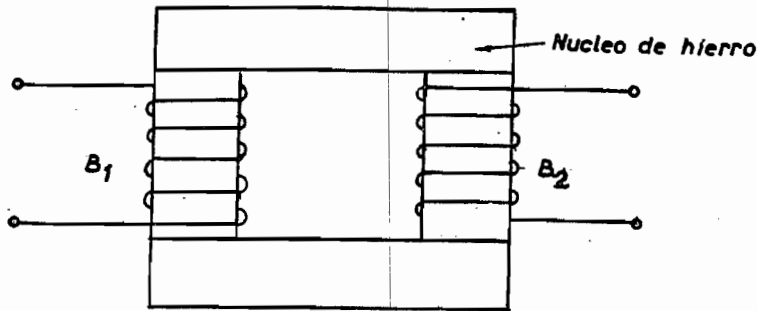
C. C.	C. A.
$E = \text{Volts.}$	$E = \text{Volts.}$
$I = \text{Amperes.}$	$I = \text{Amperes.}$
$R = \text{Resistencia en Ohms.}$	$Z = \text{Resistencia aparente o impedancia, también en Ohms.}$
$E = R \times I.$	$E = Z \times I.$
$I = \frac{E}{R}$	$I = \frac{E}{Z}$
$R = \frac{E}{I}$	$Z = \frac{E}{I}$

En un circuito de C.C., la corriente está limitada por la "resistencia" del circuito, mientras que en un circuito de C.A., la corriente está limitada por la "impedancia" del circuito, dependiente ésta de la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva, así como la distribución física del circuito.

En los circuitos de C.A., la reactancia inductiva produce efectos opuestos a los de la reactancia capacitiva, por lo mismo, las combinaciones de estos dos tipos de reactancias en el mismo circuito tienden a contrarrestarse.

Esta anulación de efectos es la base para la corrección del factor de potencia y para otros diversos efectos en los circuitos.

TRANSFORMADORES



Sean 2 bobinas: B_1 con un número de espiras N_1 y B_2 con número de espiras N_2 enrolladas a un núcleo de hierro cerrado, esto es, sin entrehierro de acuerdo con la figura anterior.

La bobina B_1 de N_1 espiras está conectada a un generador de C.A. y se llama bobina primaria o "primario". Los bornes de la bobina B_2 de N_2 espiras, llamada bobina secundaria o "secundario", lo supondremos por el momento, abierto.

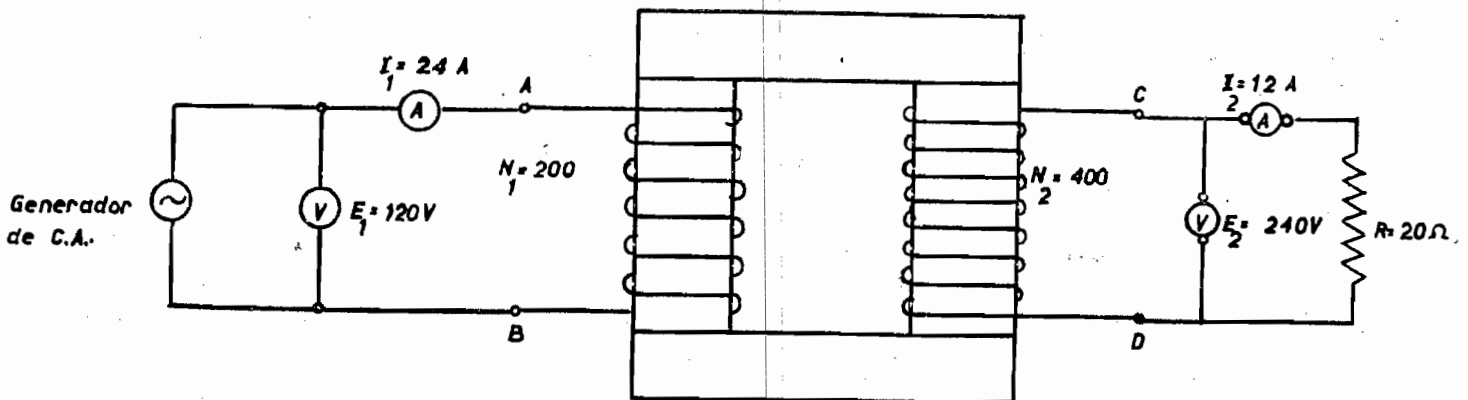
Por la bobina primaria pasa una C.A., que produce en el núcleo de hierro un flujo alterno de inducción que induce en las espiras N_1 una *f.e.m.* E_1 , como el flujo alterno pasa también por las espiras de B_2 , igualmente se creará en ellas una *f.e.m.* E_2 ; de lo anterior obtenemos la siguiente fórmula:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = r,$$

esto quiere decir "que las *f.e.m.* en un transformador son proporcionales a los números de espiras", recibiendo la relación r , el nombre de relación de transformación del transformador.

Dirigiremos nuestra atención ahora a las corrientes de carga que fluirán en los devanados primario y secundario si se coloca una carga en las terminales del secundario, tal como la resistencia R que aparece en la siguiente figura, en la cual aparece conectada una resistencia de 20 *Ohms* a las terminales "CD" del secundario, en las cuales existe un voltaje de 240 *V.*, la corriente en el secundario es:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{240}{20} = 12 \text{ A.}$$



La fuerza magnetomotriz que causa esta corriente en el secundario es:

$$f.m.m._2 = N_2 \times I_2 = 400 \times 12 = 4,800 \text{ Amper-vueltas.}$$

La corriente I_1 que fluye en el devanado primario AB produce también una *f.m.m.* que valdrá:

$$f.m.m._1 = N_1 \times I_1$$

Se ha demostrado por investigaciones y cálculo que:

$$N_1 \times I_1 = N_2 \times I_2$$

En el ejemplo ilustrado en la figura anterior encontramos que los amper-vueltas del secundario son 4800, como el primario tiene 200 vueltas y como los amper-vueltas deben ser 4800 también, es evidente que la corriente de carga en el devanado primario, deberá ser de 24 A, por lo tanto, vemos que el secundario que tiene el doble de vueltas que el primario, lleva una corriente de carga de sólo la mitad de la corriente de carga del primario. Decimos así que las corrientes de carga en el primario y en el secundario son inversamente proporcionales al número de vueltas en estos devanados respectivos. Si el número de vueltas de un devanado es 10 veces mayor que el de otro, entonces el primer devanado llevará un décimo de la corriente de la carga que fluye en el segundo devanado.

FORMULAS FUNDAMENTALES DEL TRANSFORMADOR

$$\text{Fuerza electromotriz en el primario} = E_1 = \frac{E_2 \times N_1}{N_2}$$

$$\text{Fuerza electromotriz en el secundario} = E_2 = \frac{E_1 \times N_2}{N_1}$$

$$\text{Número de espiras en el primario} = N_1 = \frac{E_1 \times N_2}{E_2}$$

$$\text{Número de espiras en el secundario} = N_2 = \frac{N_1 \times E_2}{E_1}$$

$$\text{Corriente en el primario} = I_1 = \frac{N_2 \times I_2}{N_1}$$

$$\text{Corriente en el secundario} = I_2 = \frac{N_1 \times I_1}{N_2}$$

MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA

Las máquinas de corriente alterna giratorias se clasifican en dos grandes grupos: máquinas síncronas y máquinas asíncronas. Dentro del grupo de las máquinas síncronas tenemos los generadores de C.A. o alternadores y los motores síncronos, en los cuales su velocidad siempre es igual a la del campo giratorio. El número de revoluciones por minuto en este tipo de máquinas se encuentra mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{120 \times f}{P}$$

En la cual:

P = número de polos de la máquina.

f = frecuencia de la red en Hertz o ciclos por segundo. 1 Hertz = 1 ciclo por segundo.

n = velocidad del campo giratorio.

En el otro grupo de la clasificación, o sea de las máquinas asíncronas, encontramos a las máquinas o motores de inducción. En este tipo de máquinas hay una pequeña variación entre la velocidad del campo giratorio y la velocidad del rotor de la máquina, a esa variación se le llama deslizamiento.

En las locomotoras Diesel son muy poco usadas las máquinas de corriente alterna; únicamente las encontramos en la máquina "EMD", en el sistema de enfriamiento de los motores de tracción y los radiadores, y en las locomotoras Alco, en un grupo motor generador de 400 ciclos por segundo para el sistema de excitación del generador principal, en un generador para la transición y en un generador para un dispositivo que protege al motor Diesel contra sobre velocidad llamado Tacómetro-generador.

Hay generadores de C.A. de 1 fase, de 2 fases y de 3 fases, de esa manera tenemos que los sistemas de corriente alterna también son de 1 fase, de 2 fases o de 3 fases, según sea el tipo de alternador que los alimenta.

En todo sistema de C.A. la frecuencia de la red la da la siguiente fórmula:

$$f = \frac{n \times p}{120}$$

n = velocidad del alternador en r.p.m.

p = número de polos del alternador que alimenta el circuito.

EJEMPLOS

1.—¿Cuál es la velocidad de operación de un generador de C.A. de 2 polos para que alimente una red a una frecuencia de 60 ciclos? ¿El mismo a 50 ciclos?

Tenemos la fórmula:

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

Substituyendo nuestros valores conocidos, a 60 ciclos

$$n = \frac{120 \times 60}{2} = 3,600 \text{ r.p.m.}$$

es decir que tiene que funcionar a 3,600 r.p.m.; ahora a 50 ciclos

$$n = \frac{120 \times 50}{2} = 3,000 \text{ r.p.m.}$$

Del anterior ejemplo deducimos que la frecuencia de una red de C.A. depende de la velocidad del alternador que la alimenta.

2.—¿Cuál será la frecuencia de la red del alternador del sistema de enfriamiento de una máquina F-7 Electro Motive cuando funcione el motor Diesel a 275 r.p.m., y a 800 r.p.m.?

Sabemos que el alternador tiene 16 polos y su velocidad es la misma que la del motor Diesel; así es que tenemos:

$$f = \frac{n \times P}{120}$$

Substituyendo al valor de $n = 275$ r.p.m.

$$f = \frac{275 \times 16}{120} = 36.66 = 36,2/3 \text{ ciclos.}$$

Ahora a 800 r.p.m.,

$$n = 800$$

$$f = \frac{800 \times 16}{120} = 106.66 = 106 \frac{2}{3} \text{ ciclos.}$$

De este ejemplo deducimos por que al aumentar de velocidad el motor Diesel de las locomotoras EMD equipadas con alternador, aumentan de velocidad también los motores de ventiladores que alimenta dicho alternador.

POTENCIA EN LOS SISTEMAS DE C.A.

1º—Sistema monofásico:

Potencia aparente = $E \times I$. . . volt-amperios.

Potencia = $E \times I \times$ factor de potencia . . . watts.

2º—Sistema bifásico:

Potencia aparente = $E \times I \times \sqrt{2}$. . . volt-amperios.

Potencia = $E \times I \times$ factor de potencia $\times \sqrt{2}$. . . watts.

3º—Sistema trifásico:

Potencia aparente = $E \times I \times \sqrt{3}$. . . volt-amperios.

Potencia = $E \times I \times$ factor de potencia $\times \sqrt{3}$. . . watts.

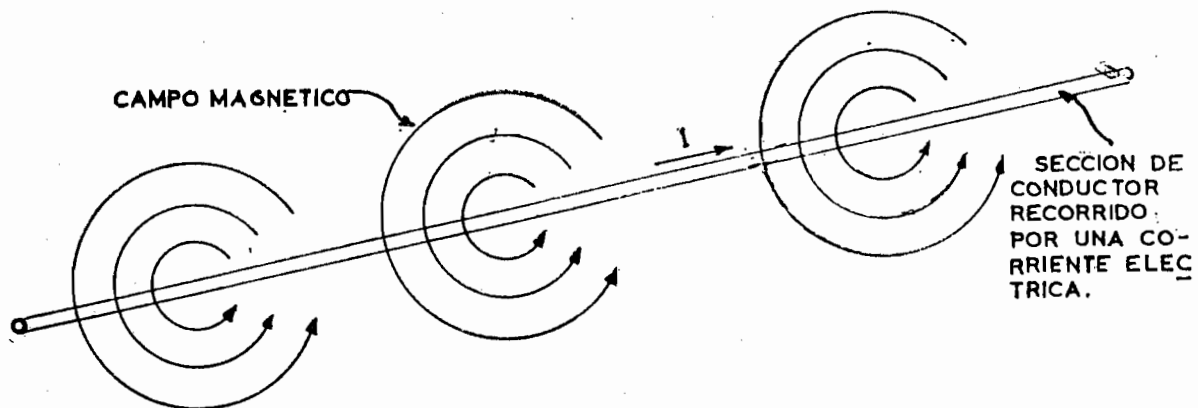
Así que, finalmente tenemos:

Volt-amperios \times factor de potencia = watts.

Kva \times factor de potencia = K.W.

LA REACTANCIA INDUCTIVA

Hemos visto que al establecerse la corriente eléctrica por un conductor, aparece en su alrededor un campo magnético cuyas superficies equipotenciales tienen la forma de capas cilíndricas concéntricas que, envuelven al conductor hasta el infinito, disminuyendo la intensidad del campo al alejarnos del conductor.



Lo creación de este campo magnético requiere un consumo de energía que solo se logra cuando la corriente circula en contra de una fuerza electromotriz. La Ley de Faraday, que responde a un hecho experimental, nos hace ver que toda variación del campo magnético del conductor produce una fuerza contra electromotriz que tiende a hacer pasar corriente en el sentido que anularía la variación del campo. De acuerdo con lo anterior, al establecerse la corriente por el conductor y formarse el campo magnético, esta variación magnética produce una *f.e.m.* contra la cual se ejerce la *f.e.m.* del circuito.

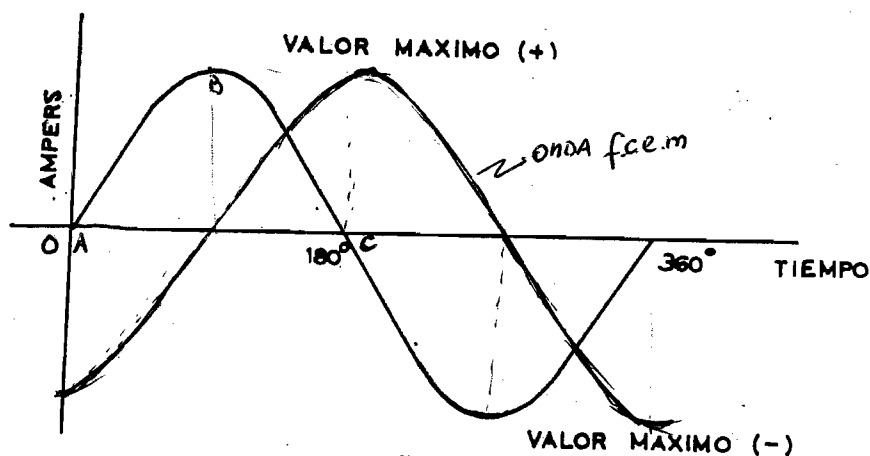
En un circuito de corriente continua, al aplicarle la fuente de *f.e.m.* la corriente no se establece de golpe, sino que tarda una fracción de segundo, mientras la corriente empujada por la *f.e.m.* propia vence la *f.c.e.m.* que la creación del campo magnético produce. Una vez establecida la corriente continua ya no hay variaciones del campo magnético alrededor del conductor y por lo tanto no habrá *f.c.e.m.* que se oponga al paso de la corriente, que se rige simplemente por la Ley de Ohm.

Si en estas condiciones intentamos abrir el circuito para impedir el paso de la corriente, el campo magnético al disiparse devuelve la energía que originalmente absorbió, produciendo una *f.c.e.m.* que tiende a mantener por unos instantes la corriente en el mismo sentido en que estaba fluyendo.

Este último efecto es el que explica por qué saltan flamazos de corriente (arcos voltaicos) al abrir de pronto un circuito. Flamazos que serán tanto más fuertes cuanto mayor sea la cantidad de energía acumulada en el campo magnético del circuito. Si tenemos conectada una bobina en serie con una resistencia, la corriente se enrolla varias veces alrededor del núcleo de la bobina produciéndose un fuerte campo magnético que se opondrá inicialmente al establecimiento de la corriente, y se opondrá con igual fuerza a la extinción de la misma al abrirse el circuito. Todo esto de acuerdo con la Ley de Faraday según la cual a toda variación del campo magnético de un conductor se produce en el mismo una f.c.e.m. que tiende a enviar corriente en el sentido que impida el cambio.

El campo magnético que invariablemente acompaña a toda la corriente eléctrica se comporta en forma análoga a la masa mecánica, ya que aparecen los efectos de una inercia eléctrica cada vez que hay variaciones del campo magnético.

Cuando la corriente en lugar de ser continua es alterna, sigue una onda como la de la figura. Empieza a circular en un sentido a través del circuito hasta alcanzar un valor máximo, después de lo cual decrece hasta cero para empezar a circular en sentido contrario hasta un valor máximo igual y opuesto al anterior. Así se va alternando con una frecuencia que en las instalaciones más comunes es de 50 ó 60 ciclos por segundo.



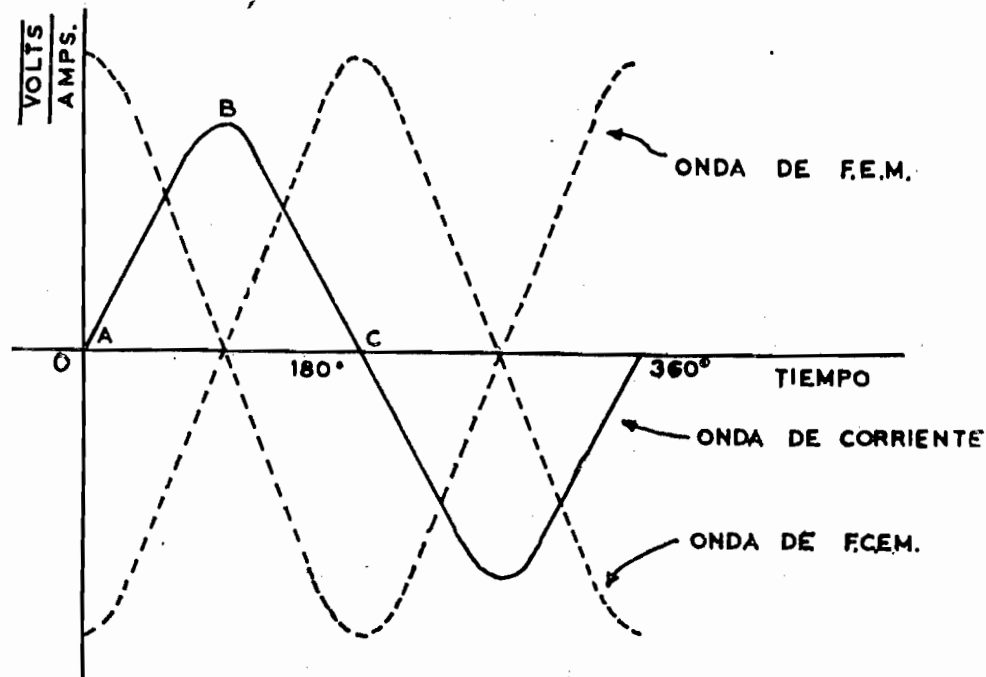
Es fácil comprender que en el caso de la corriente alterna, los efectos señalados anteriormente se presenten en el circuito no solo al establecerse o interrumpirse la corriente sino permanentemente por estar cambiando en todo momento el valor de la corriente y por lo tanto el valor del campo magnético que la acompaña. Por la Ley de Faraday, estas fluctuaciones del campo magnético producen f.c.e.m. que tienden a mandar corriente por el circuito en el sentido que se oponga a las fluctuaciones mismas, lo que equivale a decir que la corriente alterna no solo tiene que vencer la resistencia óhmica sino también la f.c.e.m. producida por la variación del campo magnético. Este efecto es lo que llamamos la inductancia del circuito.

Conforme varía la corriente alterna siguiendo su onda senoidal, la f.c.e.m. producida por el campo magnético sigue también una onda senoidal retrasada 90° de la anterior.

En efecto, en A, al pasar la corriente por cero para empezar a crecer, es cuando está variando más de prisa y por lo tanto la f.c.e.m. es máxima negativa. Al llegar al valor B su variación es prácticamente cero; la onda de la f.c.e.m. vale cero en este instante. En el punto C la corriente va a empezar a tomar valores negativos y está variando tan de prisa como en A; la f.c.e.m. tiene en este instante un valor máximo positivo, etc.

Así como en los circuitos de corriente continua, para calcular el valor de la fuerza contra electromotriz originada por el paso de la corriente de I Amperes a través de una resistencia de R ohms, se multiplica el valor de I por el de R para obtener de acuerdo con la Ley de Ohm $E = RI$, en los circuitos de corriente alterna, la f.c.e.m. óhmica, o la caída de tensión óhmica se calcula multiplicando el valor eficaz de la C. A. por el valor de la resistencia obteniéndose $E = RI_{\text{efectiva}} \dots$ Voltios.

Para poder determinar el valor de la caída de tensión motivada por la inductancia, se empieza por considerar que su efecto se reduce prácticamente al producido por las bobinas. En otras palabras, se supone que las resistencias no son inductivas, ni tampoco los conductores cuando estos son cortos.



En estas condiciones, se define la reactancia inductiva de una máquina o de una bobina mediante un factor que al multiplicarlo por la corriente eficaz nos dé el valor de la caída de tensión inductiva. El valor de este factor es:

$$X_L = L \omega \dots \Omega$$

Donde X_L es la reactancia inductiva en ohms. L es el coeficiente de auto inducción, cuyo valor depende de las proporciones de la bobina, del número de espiras y del material del núcleo.

L es el valor de la f.c.e.m. de la bobina para una variación de corriente de un amper/seg.

El valor de ω viene dado en función de la frecuencia de oscilación de la corriente alterna.

$$\omega = 2 \pi f$$

donde f es la frecuencia de la C. A.

En resumen, el valor de X_L depende de las variaciones del flujo a través de L y de la frecuencia a través de ω .

La caída de tensión ocasionada por el paso de I amperes alternos efectivos, a través de la inductancia X_L vale: $E = IX_L = IL \omega \dots$ (Voltios).

LA REACTANCIA CAPACITIVA

Un condensador eléctrico es un aparato formado por dos placas separadas por un material aislante (dieléctrico). Si aplicamos una f.e.m. continua a un condensador, la tensión eléctrica somete al dieléctrico a una deformación de naturaleza elástica, semejante a la que sufre un resorte oprimido por una fuerza mecánica. Podemos concebir esta deformación como un desplazamiento de los electrones en cada molécula, dejando el núcleo positivo orientado hacia la placa negativa y los electrones atraídos hacia la placa positiva.