RIESGOS ELÉCTRICOS

UNIDAD I

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA ELECTRICIDAD

1.- LA ELECTRICIDAD Y LA LEY DE OHM

OBJETIVO
Conocerá la relación entre las estructuras de los átomos y la corriente eléctrica

1.1 Conceptos básicos

Materia

A nuestro alrededor existen muchas cosas, plantas, animales, agua, aire, etc. Todo ello presenta diferentes aspectos en su forma, tamaño y color.

¿De qué está hecho todo lo que nos rodea?

Todo lo que nos rodea está formado por ALGO., Este ALGO es la MATERIA. Cualquier cosa que pueda medirse y pesarse es materia.

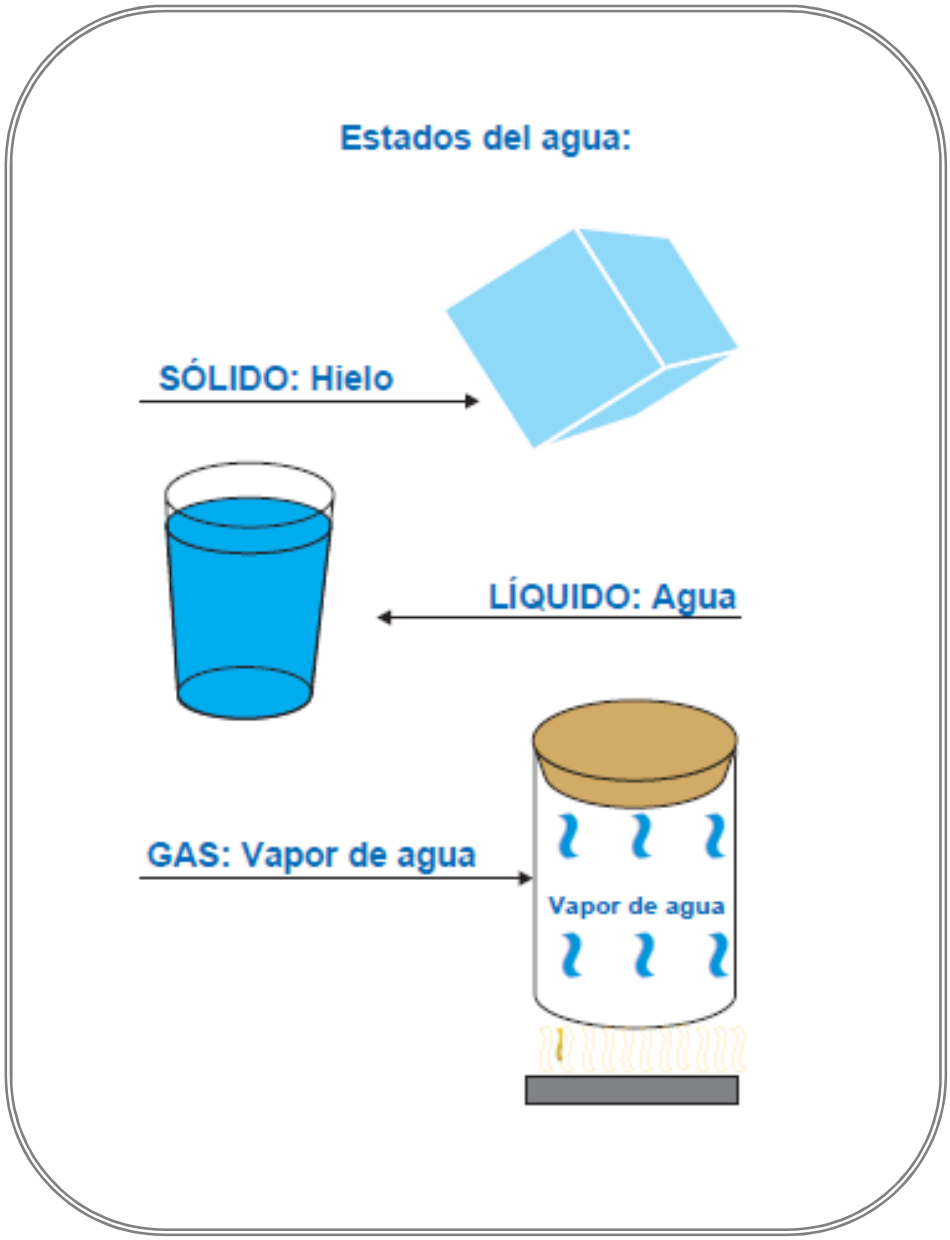
La materia existe en tres estados, que son:

SÓLIDO, LÍQUIDO Y GAS.

a) SÓLIDO: Estado en el cual una sustancia tiene forma y volumen fijos, por ejemplo: un hielo.

b) LÍQUIDO: Estado en el que las sustancias tienen volumen propio y adoptan la forma del recipiente que las contiene, por ejemplo: el agua.

c) GAS: Estado en el cual la sustancias toman la forma del recipiente que las contiene, sea grande o pequeño, es decir, no tienen forma ni volumen fijos, por ejemplo: el vapor de agua.



Toda la materia está formada por Elementos Químicos, por ejemplo: el cobre, la plata, el oxígeno, el aluminio, el oro y otros.

Átomos y moléculas:

Los cuerpos, cualquiera que sea su estado, están formados por partículas muy pequeñas llamadas MOLÉCULAS.

Una MOLÉCULA es la partícula más pequeña de una sustancia que conserva las propiedades de la misma.

Las moléculas pueden estar constituidas por átomos iguales o diferentes.

Las moléculas a su vez están formadas por otras partes más pequeñas que llamamos átomos.

El ÁTOMO es la parte más pequeña de la materia.

Los átomos caracterizan a los cuerpos simples que la química designa como ELEMENTOSQUÍMICOS y de los cuales el hombre ha encontrado más de 90 en la naturaleza.

Las partes fundamentales del átomo son: El PROTÓN (carga positiva), NEUTRÓN el (sin carga) y el ELECTRÓN (carga negativa).

Los protones y neutrones se encuentran en el núcleo del átomo, mientras que los electrones están girando alrededor del núcleo.

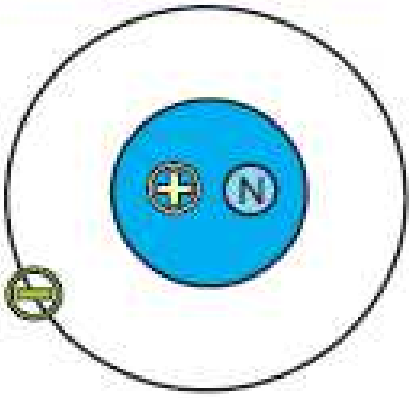
Se dice que un átomo está Eléctricamente Balanceado, sin Carga o Neutro, cuando tiene la misma cantidad de protones que de electrones.

Fig A

Una molécula de Oxígeno está formada por átomos iguales.

Fig B

Una molécula de Monóxido de Carbono está formada por átomos diferentes.



El ÁTOMO de hidrógeno es el más pequeño que existe en la naturaleza ya que tienen solo un electrón girando alrededor del su núcleo.

Átomo Eléctricamente Balanceado

Los electrones están ligados a sus núcleos por fuerzas muy intensas y sin embargo, pueden ser separados. Por lo tanto, los electrones pueden pasar de un cuerpo a otro cuando se ponen dos sustancias en contacto estrecho. Es por ello que al frotar dos cuerpos es posible transferir una gran cantidad de electrones de un objeto a otro. Cuando esto ocurre, uno tendrá exceso de electrones y el otro tendrá una falta de electrones.

Entonces, el objeto que tiene un exceso de electrones queda cargado Negativamente, y el que tiene una falta de electrones queda cargado Positivamente.

Tracción y repulsión de carga

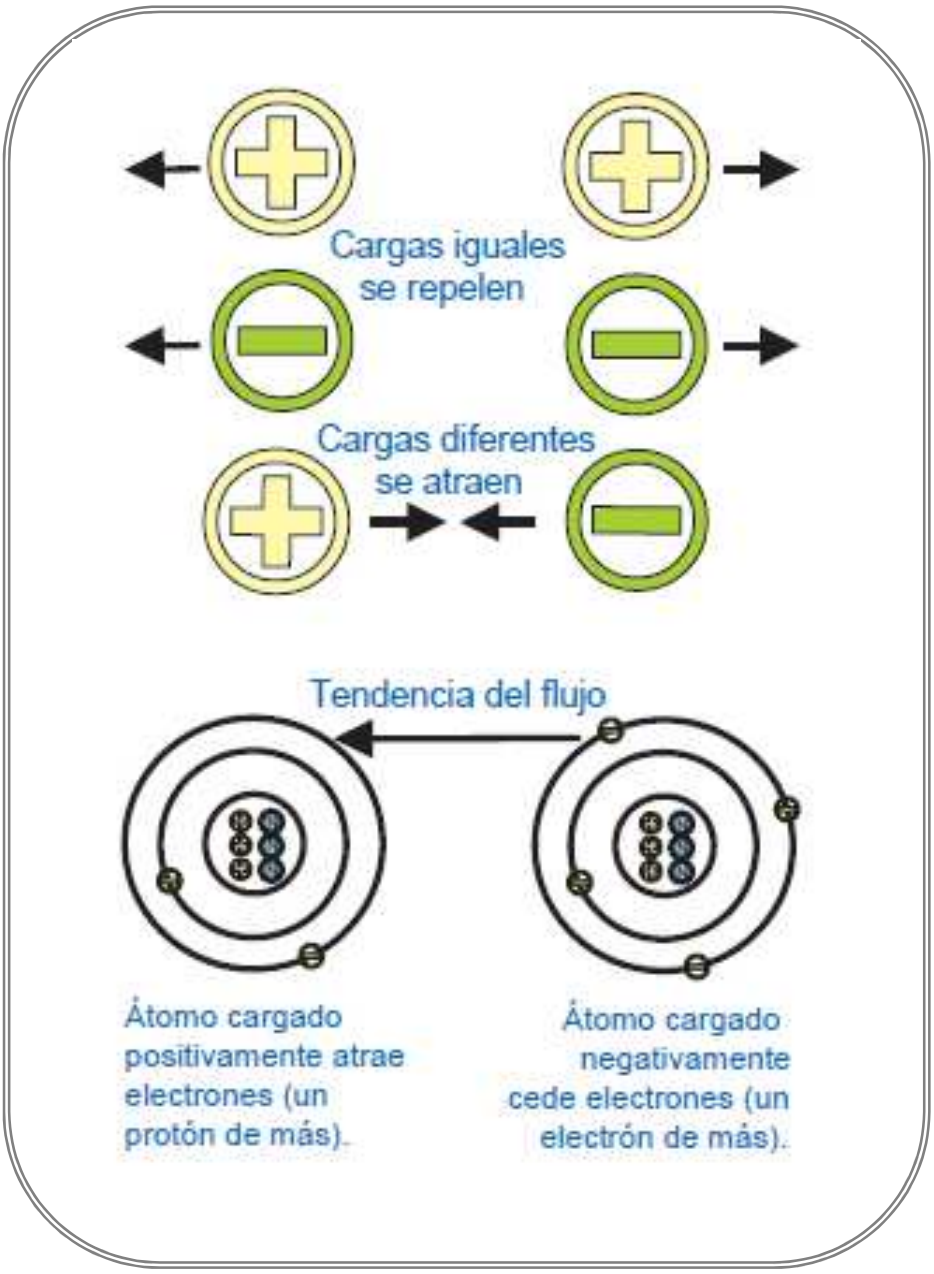
Uno de los principios fundamentales del estudio de la electricidad es el hecho de que dos cargas iguales se rechazan mutuamente así como dos cargas diferentes serán atraídas entre sí.

Los átomos por naturaleza siempre buscan mantener un equilibrio eléctrico, es decir: Un átomo cargado positivamente atraerá a electrones libres de otros átomos en un intento por recuperar su equilibrio eléctrico.

Esto provoca que en una situación desbalanceada, los electrones puedan fluir de un átomo a otro. Este flujo se conoce como Corriente eléctrica.

Cuando un átomo tiene un exceso de electrones se dice que está cargado negativamente.

Cuando a un átomo le faltan electrones se dice que está cargado positivamente.
Corriente eléctrica es un flujo de electrones de un átomo a otro.


Cargas iguales
se repelen
Cargas diferentes
se atraen
Tendencia del flujo
Átomo cargado
positivamente atrae
electrones (un
protón de más).
Átomo cargado
negativamente
cede electrones (un
electrón de más).

1.2 Circuito Eléctrico

OBJETIVO
Conocerá la forma de conexión de los circuitos eléctricos

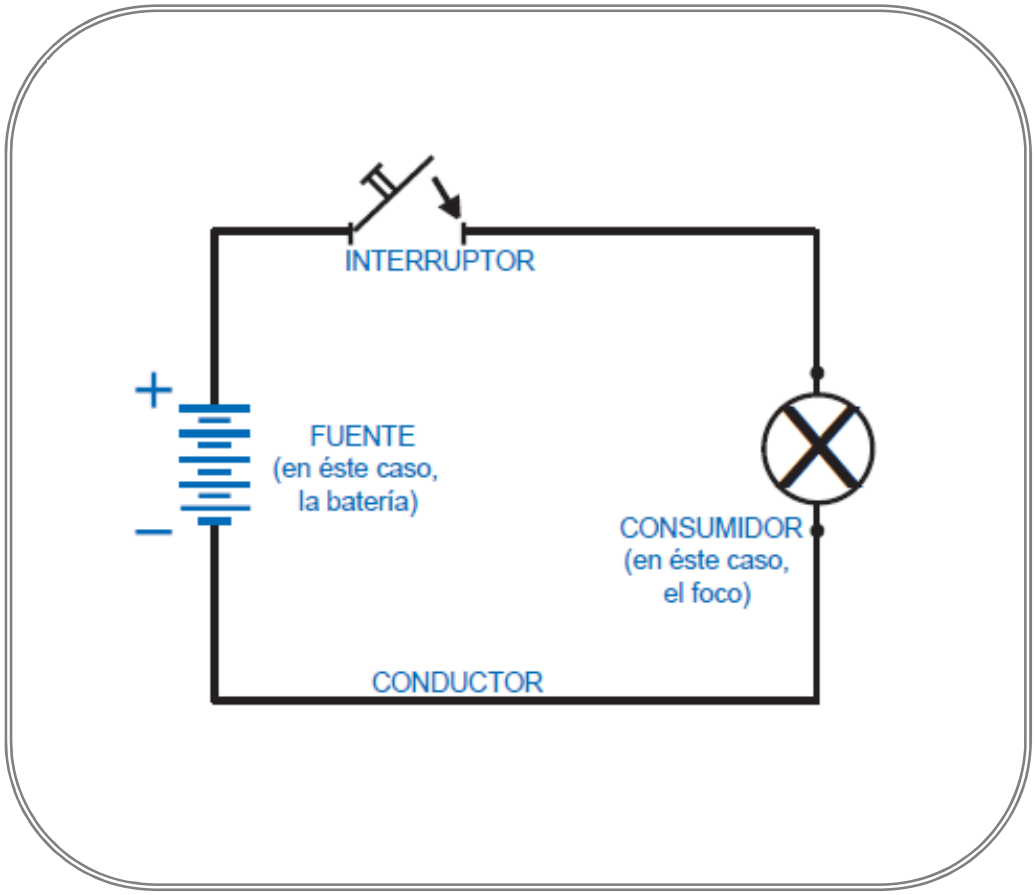
Componentes de un circuito el eléctrico.

FUENTE: Aporta la energía eléctrica dentro del circuito, por ejemplo la batería.

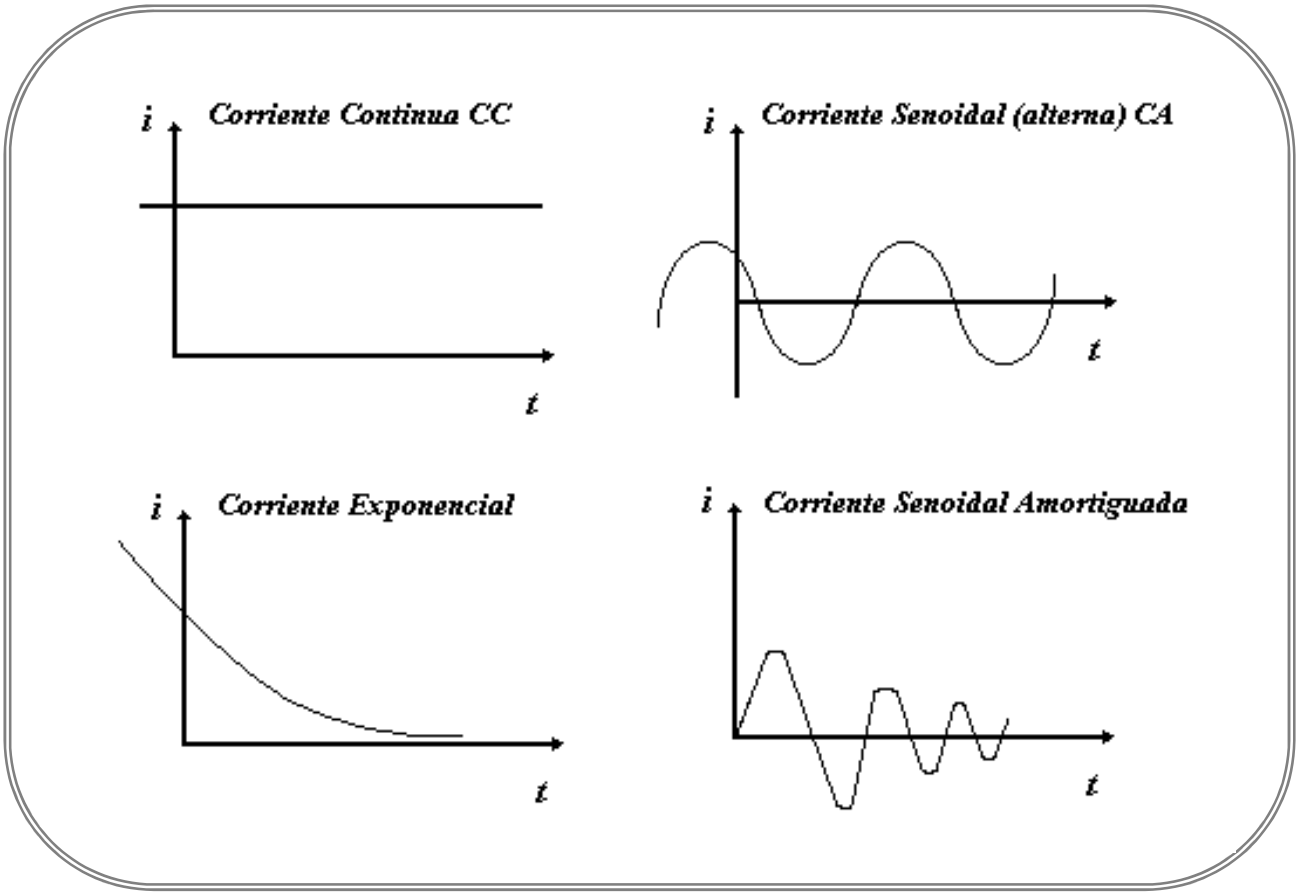
CONDUCTOR: Cable por medio del cual unimos la fuente con los consumidores.

CONSUMIDOR: Elemento del circuito que utilizan la energía eléctrica y la transforman en luz, trabajo, calor, etc. Por ejemplo: los focos, resistencias, motores, electroválvulas, etc.

INTERRUPTOR: Elemento que se encarga de abrir (no deja pasar la corriente), o cerrar (si deja pasar la corriente)



Tipos de corrientes



Corriente Directa

Corriente directa quiere decir que la corriente circula en un sólo sentido, es decir, no cambia de polaridad positiva a negativa.

La corriente directa puede ser CONTINUA o PULSANTE.

La continua es aquella que todo el tiempo mantiene un sólo valor de voltaje, por ejemplo la batería, o una pila.

Circuitos en serie pase a través de cada uno de ellos la misma corriente

Cuando se conectan extremo con extremo dos consumidores o más, de manera que, se dice que están conectados en Serie.

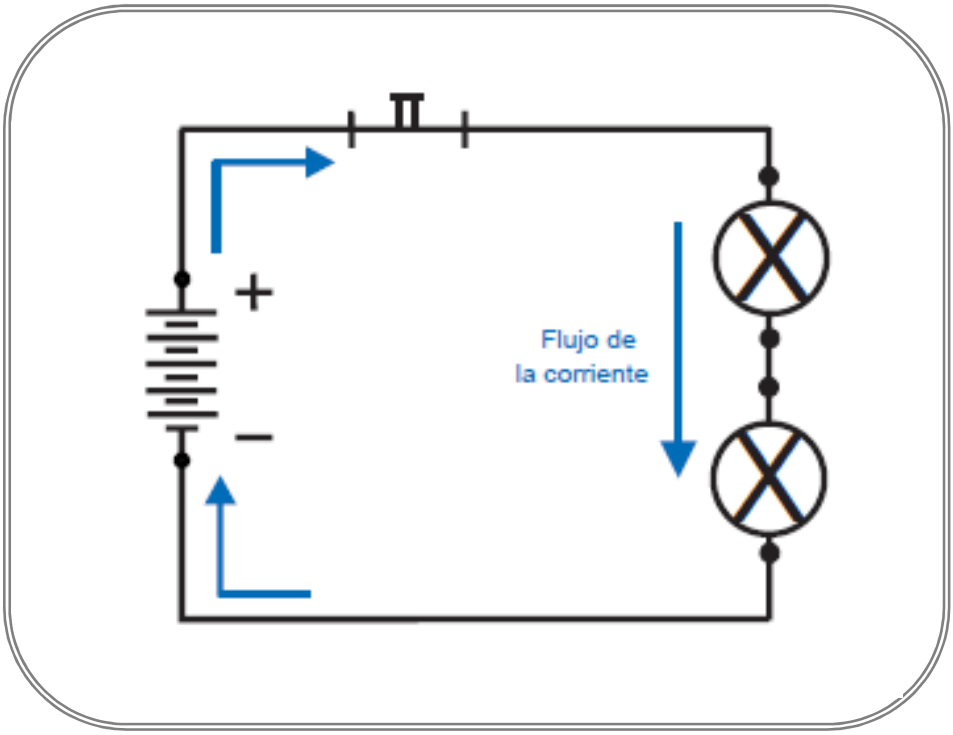
Pueden ser focos u otros dispositivos eléctricos. En éste tipo de circuitos, existe el mismo amperaje en todos los elementos consumidores.

a) Circuitos en serie

Cuando se conectan extremo con extremo dos consumidores o más, de manera que pase a través de cada uno de ellos la misma corriente

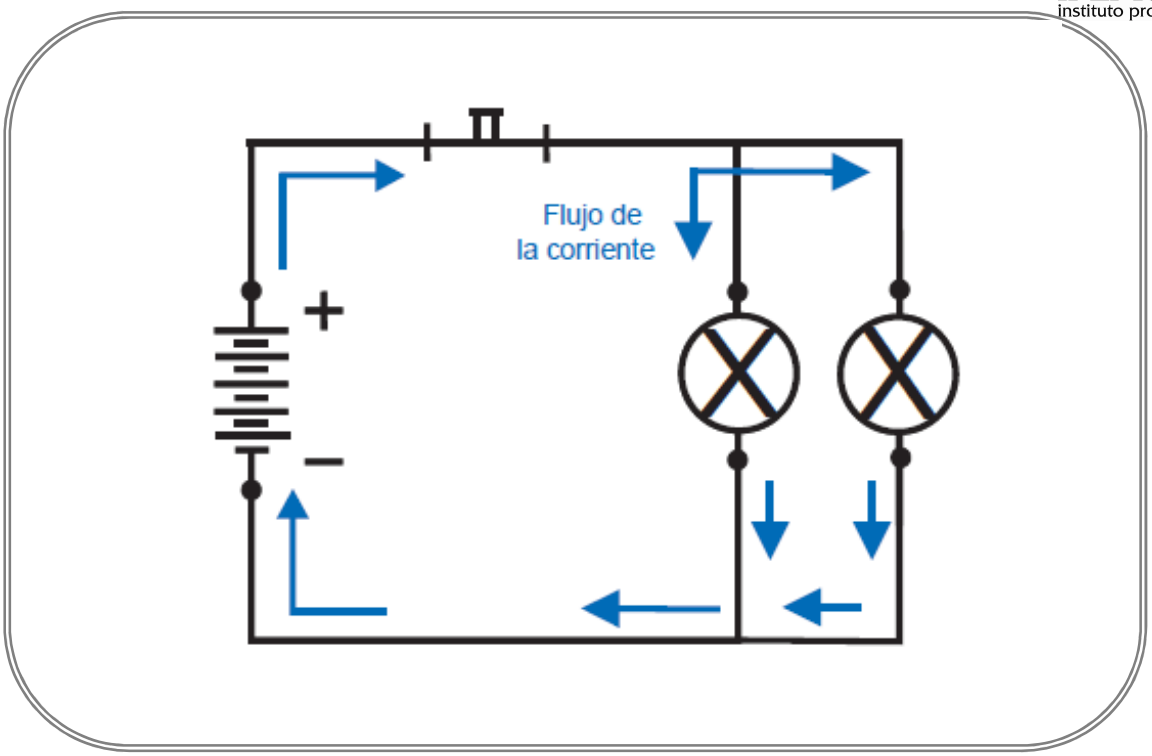
Cuando se conectan extremo con extremo dos consumidores o más, de manera que, se dice que están conectados en Serie.

Pueden ser focos u otros dispositivos eléctricos. En éste tipo de circuitos, existe el mismo amperaje en todos los elementos consumidores.



b) Circuitos en paralelo

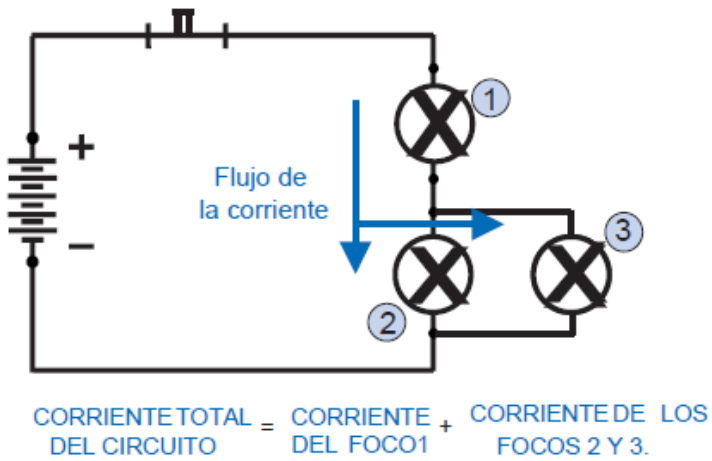
Si los consumidores se conectan de modo que la corriente de la fuente se divida en las diferentes ramas del circuito, como en la figura, se dice que los consumidores están conectados en Paralelo. En éste tipo de circuitos el amperaje se divide en dos.



c) Circuitos Combinados en Serie - Paralelo

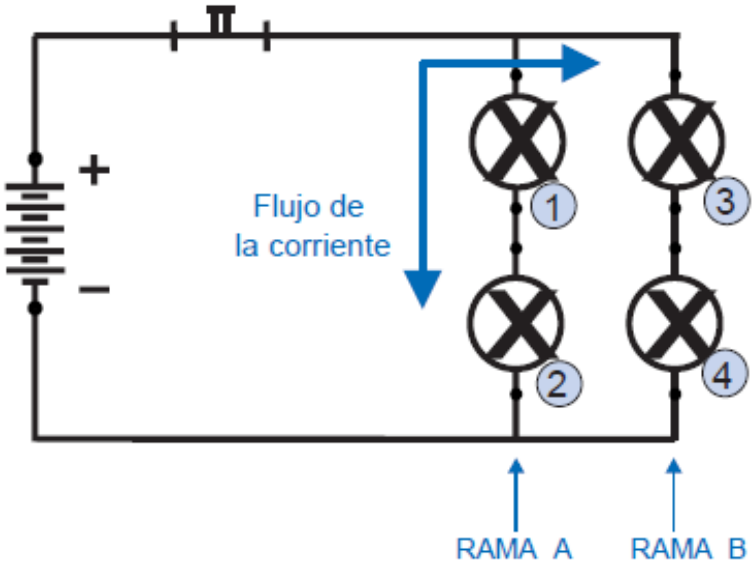
Como su nombre lo dice, son una combinación de los dos anteriores circuitos, es decir, en un mismo circuito están conectados algunos consumidores en serie y otros en paralelo.

Los consumidores que estén en serie tendrán la misma corriente y los que estén en paralelo tendrán el mismo voltaje.



Los focos 2 y 3 están en paralelo, pero al mismo tiempo están en serie con el foco 1,

En el circuito de la parte inferior se muestra otra forma de circuito serie-paralelo; el circuito se divide en dos ramas que están en paralelo pero, cada rama tiene dos focos en serie; en este caso, los focos 1 y 2 están en serie; lo mismo que los focos 3 y 4. Sin embargo, los focos 1 y 2 están en paralelo con los focos 3 y 4;



1.3 Amperaje, voltaje y resistencia

OBJETIVO

Conocerá las características del flujo de corriente eléctrica, la forma de medirlas y los factores que la afectan

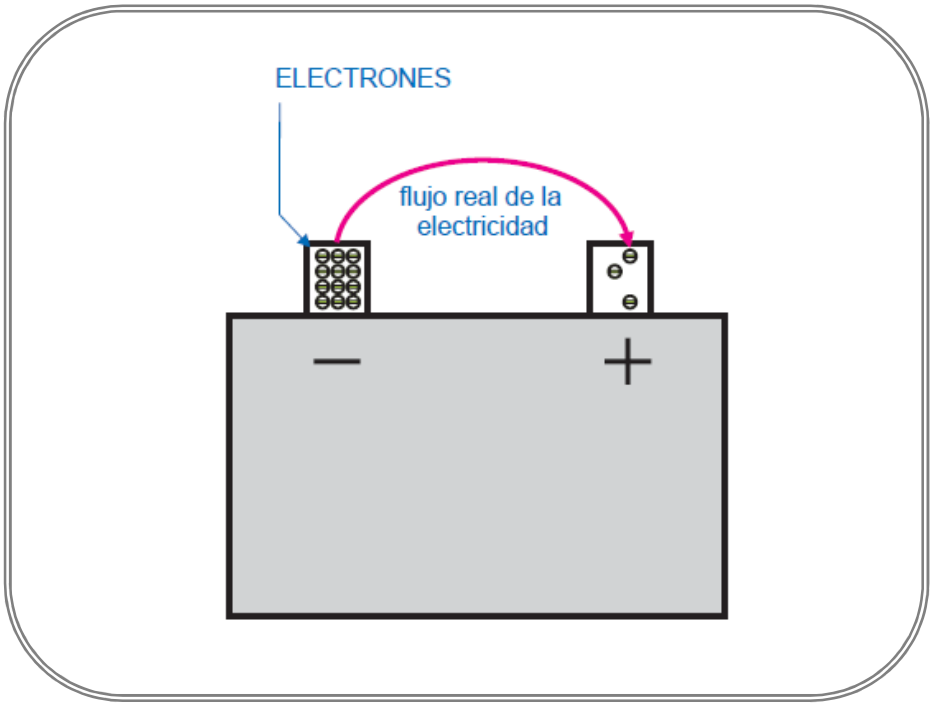
Flujo Teórico y Real de los Electrones

Flujo Real

Recordemos que la electricidad es un flujo de electrones y como son de carga negativa, por lo que su sentido “real” de flujo en una batería es de negativo (-) a positivo (+).

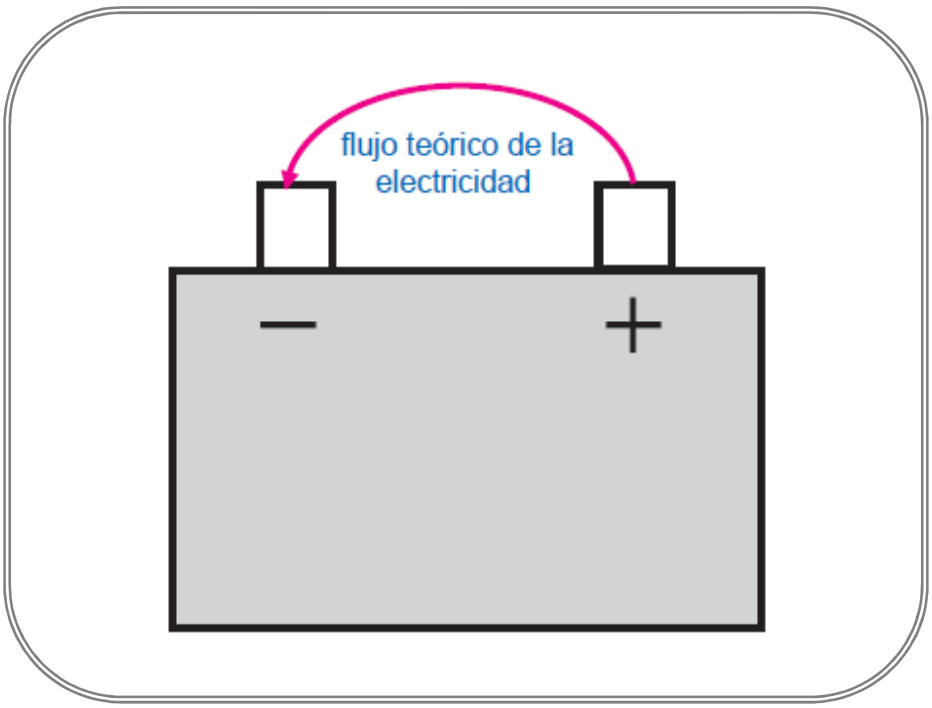
Cuando se conecta un consumidor a las terminales de una pila como en la figura.

La realidad es que los electrones de la terminal negativa “empujan” (repelen) a los electrones de la batería y del conductor hacia la terminal positiva, iniciando así el flujo de corriente



Flujo Teórico

Hace más de dos siglos no se conocía lo que producía la electricidad y los científicos en sus experimentos determinaron “convencionalmente” que la corriente fluía del polo positivo (+) al polo negativo (-), por ello se le conoce como “corriente convencional”, que es la que utilizamos en nuestros días. Este tipo de flujo es el que utilizamos en nuestros diagramas eléctricos.



1.4 Unidad de medida de la electricidad

En un circuito eléctrico existen tres variables que describen la electricidad.

Amperaje

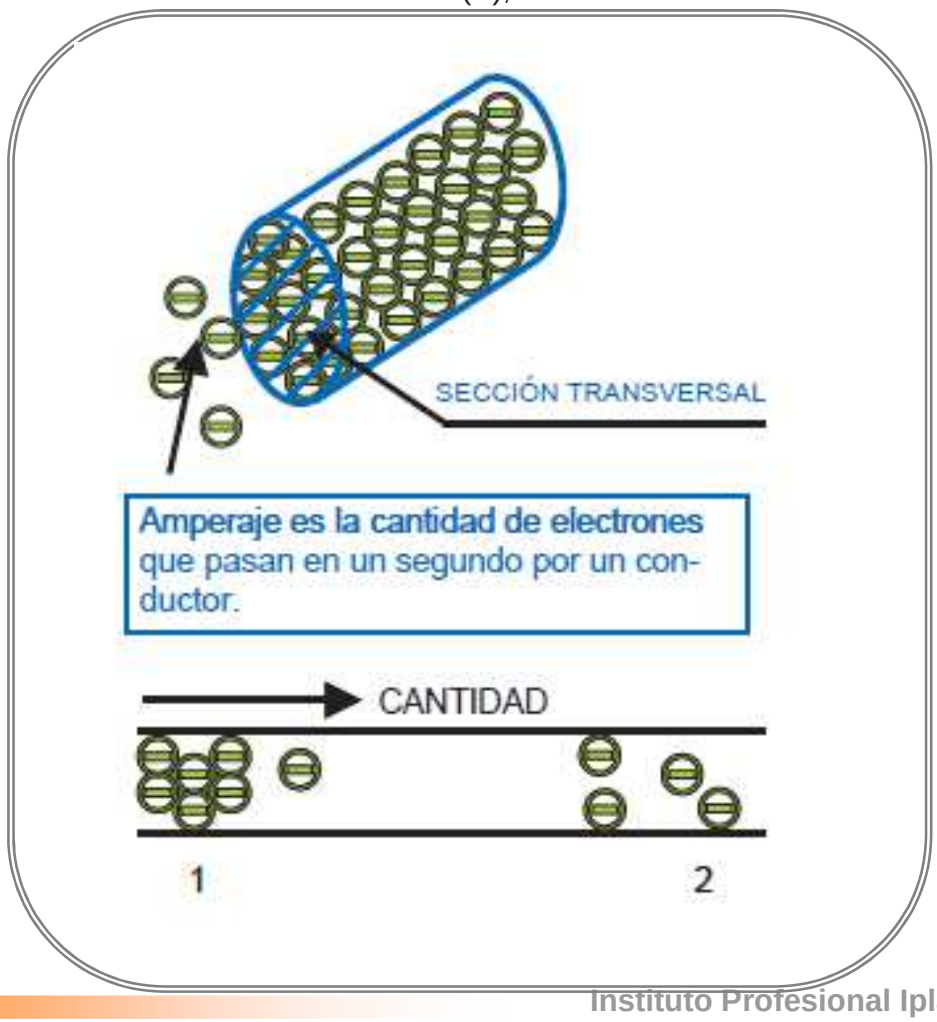
Es la cantidad de corriente eléctrica (electrones) que pasa por un circuito eléctrico en un segundo.

La unidad de medida es el Amper o Amperio (A), se mide con un amperímetro.

Voltaje

También llamado Tensión eléctrica o Diferencia de potencial es el valor medido entre dos puntos diferentes de un circuito eléctrico.

La unidad de medida es el Volt o Voltio (V), se mide con un voltímetro.



C. Resistencia eléctrica

La Resistencia Eléctrica es la oposición al paso de la corriente.

La corriente eléctrica solo fluirá cuando sea suficiente para vencer la resistencia del conductor y de los consumidores.

La unidad de medida de la resistencia es el OHM.

Podemos verificar la resistencia con un multímetro en la posición de Óhmetro.

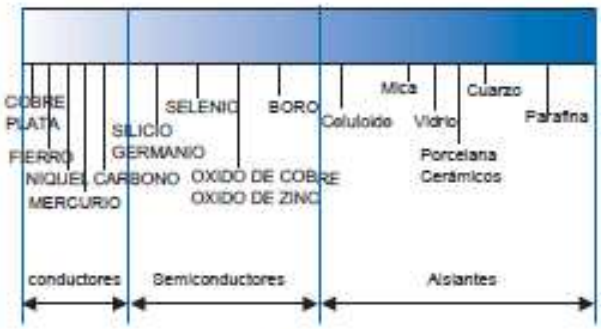
El comportamiento de la resistencia eléctrica en un conductor depende de 4 factores:

Factores

1.- MATERIAL, existen 3 tipos de materiales ver DIBUJOS A, B, C, D:

- Aislantes: materiales que no conducen la electricidad, tales como la parafina, la madera, el hule, el vidrio, cerámicos, el cuarzo y otros.
- Semiconductores: materiales que según las condiciones eléctricas de funcionamiento se comporta como conductor o como aislante. Algunos son: el silicio, el germanio, el selenio, el grafito entre otros.
- Conductores.- materiales que conducen muy bien la electricidad, por ejemplo, el oro, la plata, el cobre y otros metales.

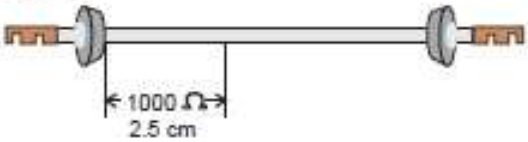
Resistencia Eléctrica



DIBUJO A

Los cables de bujía presentan diferente resistencia según el material de que estén hechos, por ejemplo:

Los cables de Seda, tienen 1000 Ω por cada 2.5 cm de longitud que tenga el cable.

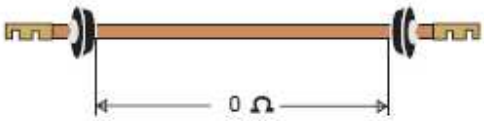


DIBUJO B

Los cables de Grafito, tienen 450 Ω por cada centímetro del cable.

DIBUJO C

Los cables de cobre, debido a que están hechos con un material conductor, podemos decir que no presentan resistencia.



DIBUJO D

Como usted sabe, los conductores y los aisladores difieren en su resistencia al flujo de electrones.

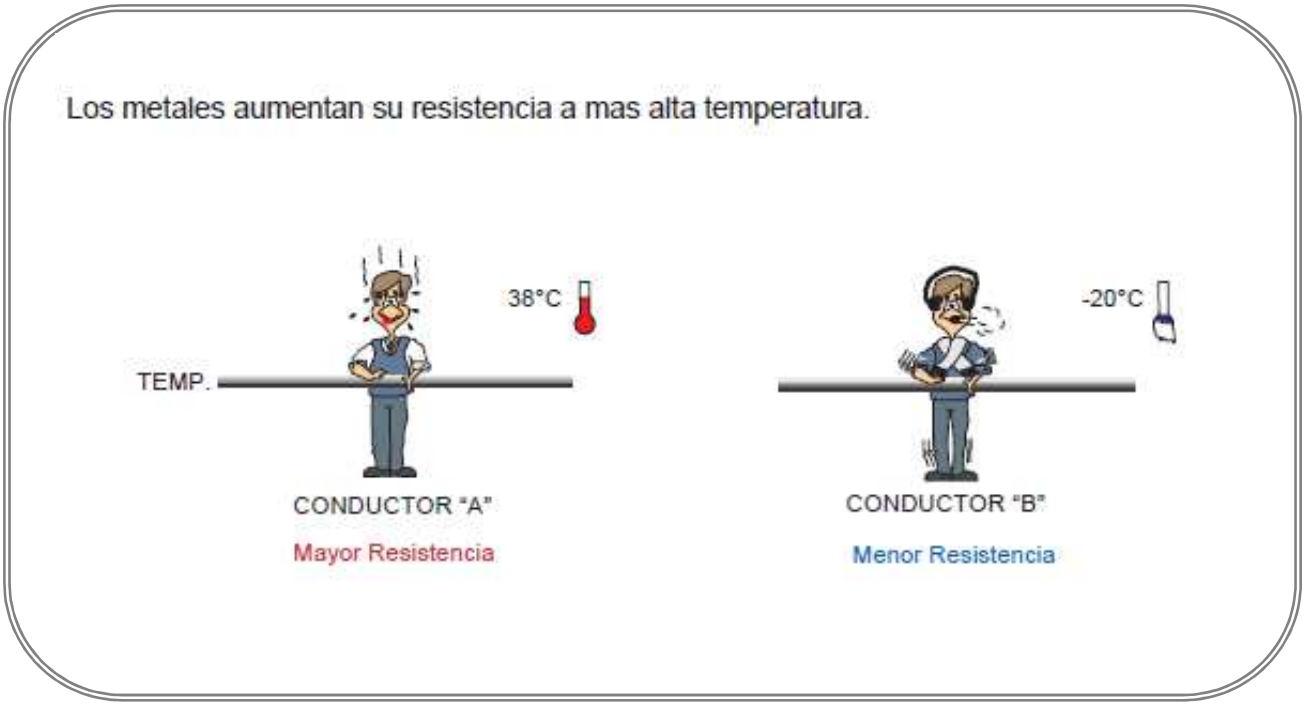
Del mismo modo, ya que no hay dos materiales iguales, los conductores difieren en su resistencia al flujo del electrón.

Ciertos factores determinan la resistencia que ofrece el conductor al flujo de corriente eléctrica

1). El material del conductor. El mayor número de electrones fácil de liberar

2). La longitud del conductor. Mientras más largo es el conductor, mayor es la resistencia al flujo de la corriente.

3). El diámetro del conductor. Cuanto mayor es el diámetro, menor es la resistencia al flujo de la corriente.

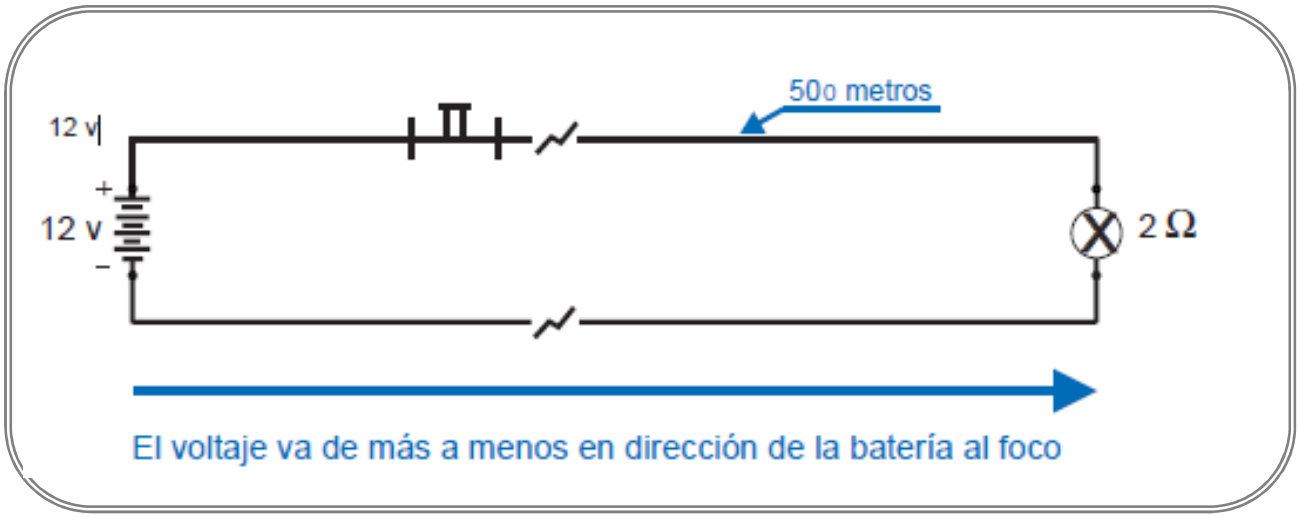


1.5 Caída de Tensión

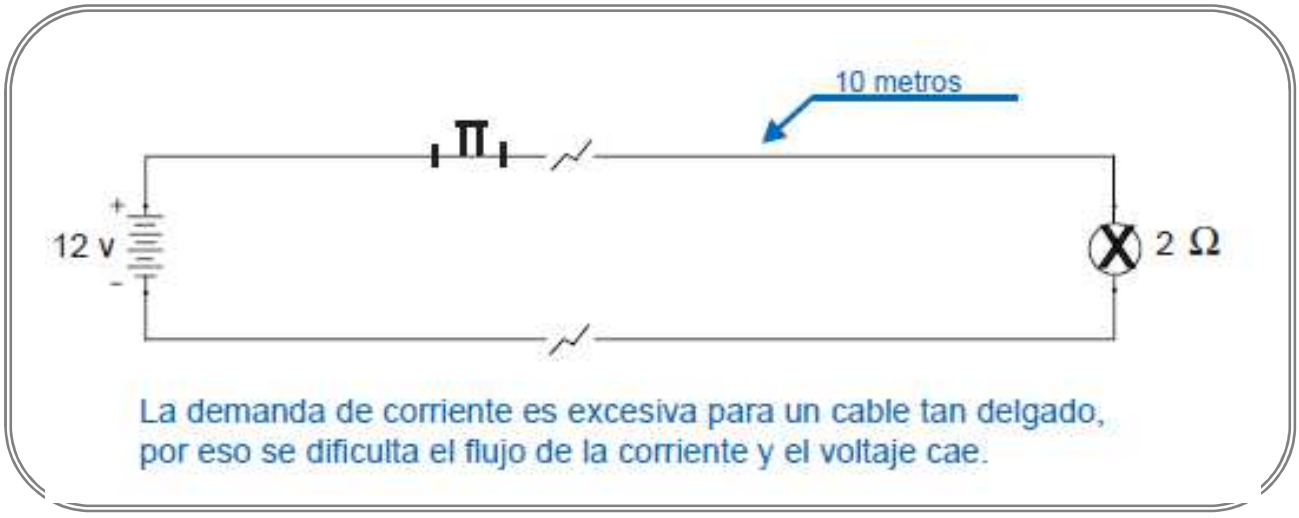
CAÍDA DE TENSIÓN es la pérdida de voltaje en un circuito eléctrico debido a la resistencia que presenta el circuito en diferentes formas, tales como:

La longitud del circuito: Imagina que tenemos un cable conductor que mide 500 metros; que en uno de los extremos conectamos una batería con 12 voltios y que al otro lado del conductor, conectamos un foco de 2 ohms. El voltaje de la batería va a disminuir conforme se acerca al foco, puesto que un conductor mientras más largo es, presenta más resistencia al flujo de la corriente.

El foco no va a prender ya que el voltaje que le va a llegar, no va a ser suficiente, es decir, va a llegarle una mínima parte de los 12 volts.



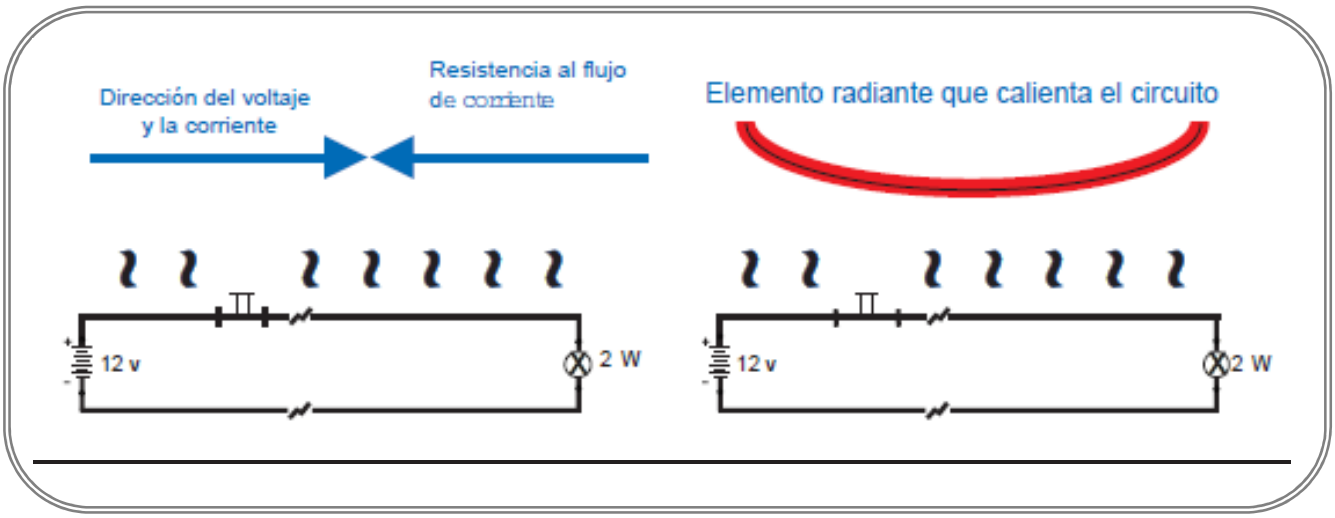
Calibre del cable: Recuerda que a un diámetro mayor del cable, la resistencia es menor. Ahora imagina que tenemos nuestra batería de 12 voltios; que nuestro cable mide 10 metros y que es muy delgado; la corriente, no va a poder atravesar el conductor con facilidad por ser tan estrecha su área de sección transversal (mayor resistencia), lo que no pasaría si el diámetro del conductor fuera mayor.



CAIDA DE TENSIÓN

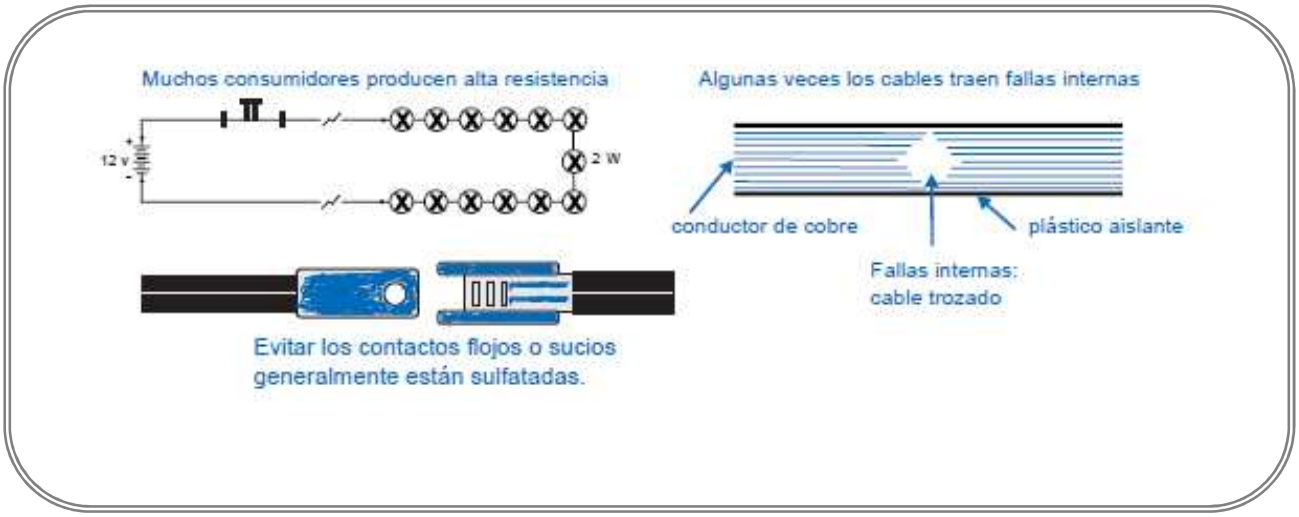
Temperatura: Si continuamos con el ejemplo anterior, a la corriente le va a costar mucho trabajo atravesar por el conductor; esto va a provocar que aumente la temperatura en el interior del cable.

En ocasiones los cables no se calientan por el flujo de la corriente, sino por la temperatura exterior, debida a elementos cercanos al circuito que están muy calientes.



Alta resistencia: Básicamente, ésta incluye a las anteriores; pero, cuando hablamos de que un "circuito tiene alta resistencia", nos podemos estar enfrentando a diferentes causas que la provocan, por ejemplo: que tengamos un exceso en la cantidad de consumidores dentro del circuito; algunas ocasiones los cables tienen fallas internas (en ocasiones se trozan), que provocan una alta resistencia. La causa más frecuente de alta resistencia en un circuito son los falsos contactos, es decir, contactos flojos o sucios.

En todos los casos el voltaje se va a ir dividiendo para poder alimentar a todos los elementos del circuito, y puesto que va a ser el mismo voltaje para alimentar a todos, al irse dividiendo, va a ir disminuyendo.



1.6 La Ley de OHM

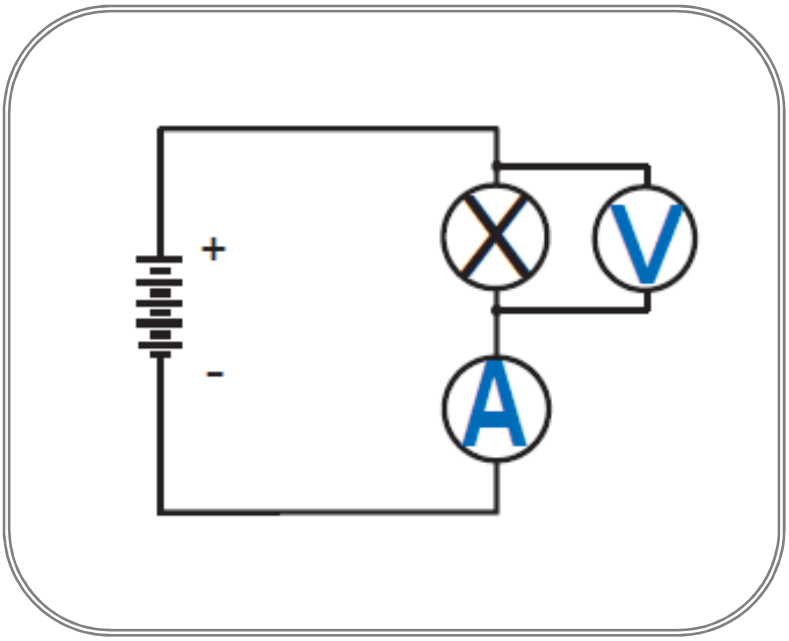
OBJETIVO

Conocerá la relación entre el voltaje, el amperaje y la resistencia por medio por medio de la ley de Ohm.

George Simon Ohm (1787-1854), un científico alemán, al realizar varios experimentos en 1827 comprobó que la corriente que fluye en un circuito, es directamente proporcional al voltaje que se le aplica, e inversamente proporcional a la resistencia del circuito, es decir, que a mayor resistencia, habrá menor intensidad en la corriente.

La ley de ohm permite calcular el valor teórico de alguna de las medidas fundamentales conociendo las otras dos. De éste modo es posible comprobar si son correctos los valores medidos en un circuito.

Con la ley de ohm es posible calcular el Voltaje, el Amperaje y la Resistencia dentro de un circuito.



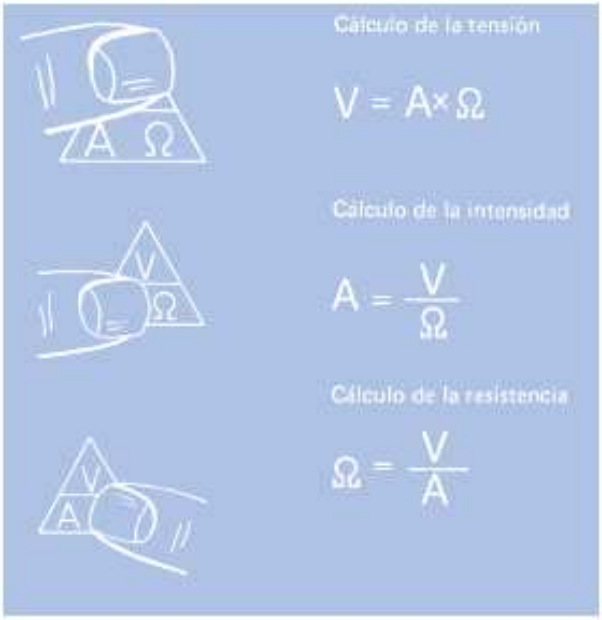
Existe una forma muy sencilla para poder calcular las tres variables de la ley de ohm.

Sobre la base de este triángulo podemos establecer la fórmula con la que se calcula una de las tres medidas.

Si tapamos con el dedo la medida desconocida, podemos ver como las otras dos medidas han de dividirse o multiplicarse.

V
Tensión

A x Ω
Intensidad Resistencia



Por ejemplo: si en un foco de faro hay una tensión de 12 volts y la resistencia del foco es de 3 ohms. ¿Cuál es el amperaje?.

Para resolver debemos seguir los pasos ya mencionados:

1. Obtenemos el voltaje de la batería: 12 volts.

2. Medimos la resistencia del foco: 3 ohms.

Para calcular el valor de la intensidad, resolvemos con la fórmula:

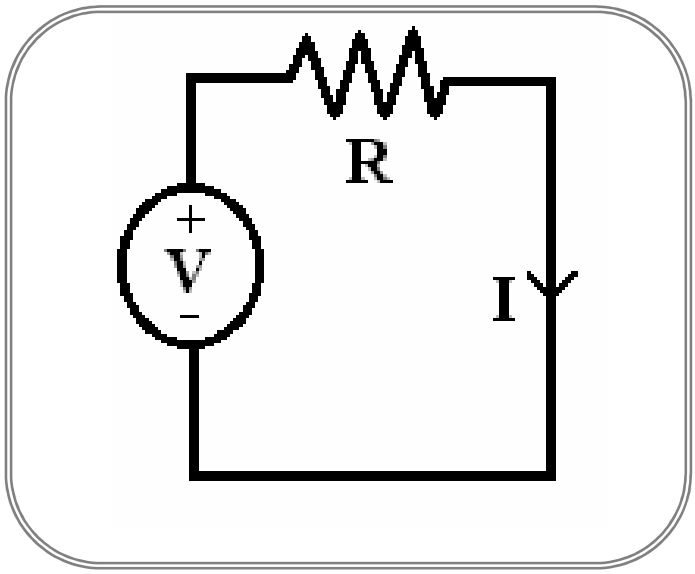
$$I = \frac{V}{R} = \frac{12\,V}{3\,\Omega} = 4 \text{ Amperes}$$

1.7 Ley de OHM en los circuitos magnéticos

Los circuitos magnéticos son un modelo aproximado que representa el funcionamiento magnético de máquinas eléctricas. La importancia de estos circuitos está en la simplificación de los cálculos para el diseño, ya que de Otra forma resultarían muy complejos. Una gran parte de los circuitos magnéticos están formados por arrollamientos devanados sobre núcleos de materiales en su mayoría ferro magnéticos, ya que ellos tienen una alta permeabilidad magnética con la cual no se necesitan grandes corrientes para producir el flujo de operación del dispositivo. Los materiales ferro magnéticos son no lineales, es decir, su permeabilidad magnética es variable, por lo que la magnetización sigue una curva complicada, la cual está regida por el fenómeno de Histéresis. Con el modelo del circuito magnético se obtiene la ecuación de la recta de carga del dispositivo, la cual se Grafica superpuesta en la curva de magnetización del material del mismo y la intersección de estas dos gráficas Proporciona los parámetros de operación del dispositivo. En este artículo se presentarán alternativas para hallar .Esta intersección con una mayor precisión empleando métodos numéricos, ya que en la práctica se emplean Métodos empíricos poco confiables como son el gráfico y el ensayo y error.

Circuitos Magnéticos

En un circuito eléctrico, como el mostrado en la figura 1, el valor de la corriente que circula por él, depende tanto de la fuerza electromotriz (V ó f.e.m) como de la Resistencia del circuito (R). Esta es la conocida ley de Ohm, la cual se expresa como:



La resistencia en los circuitos eléctricos se encarga de oponerse al paso de la corriente. Por analogía, la oposición del medio al paso del flujo magnético se conoce como resistencia magnética o reluctancia. Esta se expresa como:

$$R = \frac{Lm}{Su}$$

Donde Lm,u , y S son respectivamente la longitud media, la permeabilidad del medio y el área de éste. Por todas estas comparaciones se puede formular la ley de Ohm para circuitos magnéticos

$$o = \frac{fmm.}{R}$$

Esto implica que al dispositivo de la figura 2 se le puede asociar un circuito magnético como el de la figura 3, con este modelo es más fácil su manejo ya que se resuelve como un simple circuito eléctrico.

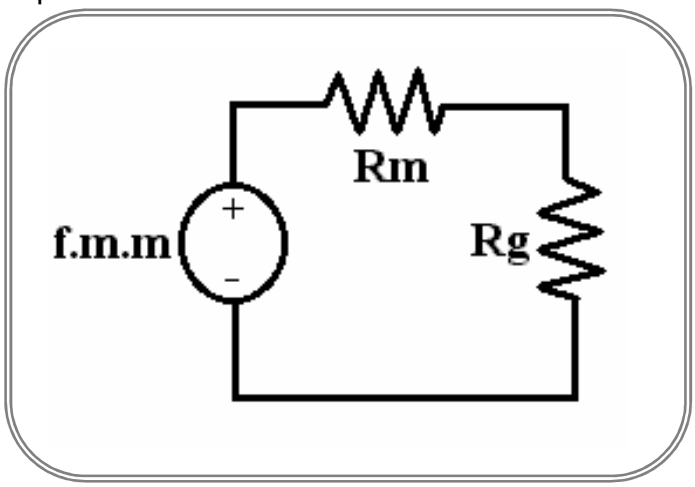


Figura 3. Modelo equivalente para el dispositivo de la figura 2 .El concepto de circuito magnético es una aproximación y esto se debe básicamente a:

- El concepto de circuito magnético asume que todo el flujo magnético está confinado dentro del núcleo Magnético.

- Se toma como base para el cálculo de la reluctancia la longitud media y la superficie transversal del núcleo. Estas consideraciones no son muy convenientes especialmente en las esquinas (las áreas mayores).

- La permeabilidad de los materiales ferro magnéticos varía según la cantidad de flujo que tengan y esto no se considera.

- Para entrehierros se asume que la superficie transversal del aire es la misma del núcleo, pero en realidad es mayor por el efecto de bordes del campo Magnético allí.

Planteando suma de tensiones en la figura 3 se obtiene:

$NI = H\,L + H\,L.$

Como la densidad de flujo magnético (B) y la intensidad del campo magnético (H) están relacionadas de la forma:

$B = uH$ (6)

y además el flujo y la densidad de flujo magnético también están relacionadas así:

$o = BS.$ (7)

se halla que el flujo y la intensidad del campo magnético que se relacionan como sigue:

$o = \mu HS.$ (8)

Al reemplazar en la ecuación (5) se obtiene:

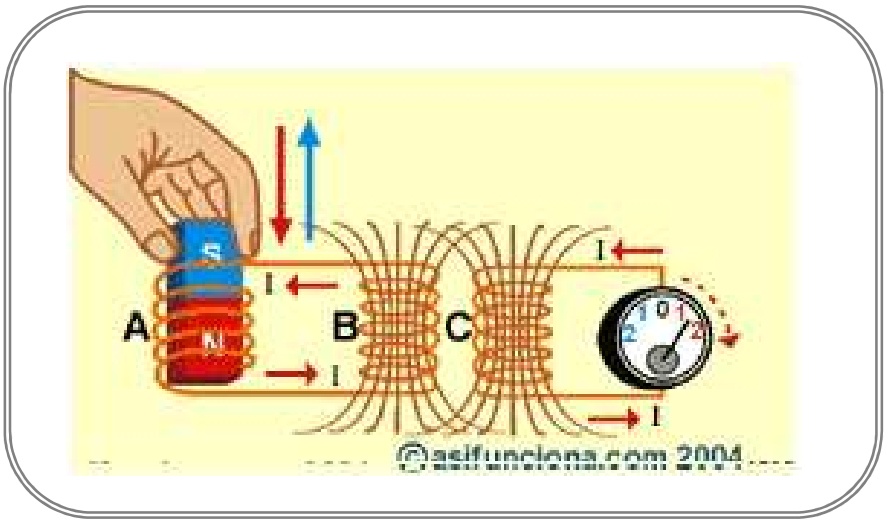
$NI = H\,L + H\,L.$ (9)

Teniendo claro que el flujo se asume igual tanto en el material como en el entrehierro y que son iguales sus áreas, se obtiene:

$B\,m = B\,g.$ (10)

1.8 Inducción magnética

Cuando movemos un imán permanente por el interior de una bobina solenoide formada por un enrollado de alambre de cobre con núcleo de aire, el campo magnético del imán provoca en las espiras del alambre la aparición de una fuerza electromotriz **(FEM)** o flujo de corriente de electrones. Este fenómeno se conoce como "inducción magnética". La existencia de ese flujo de electrones o corriente eléctrica circulando por las espiras del alambre se puede comprobar instalando un galvanómetro **(G)** en el circuito de la bobina solenoide, tal como se muestra a continuación.

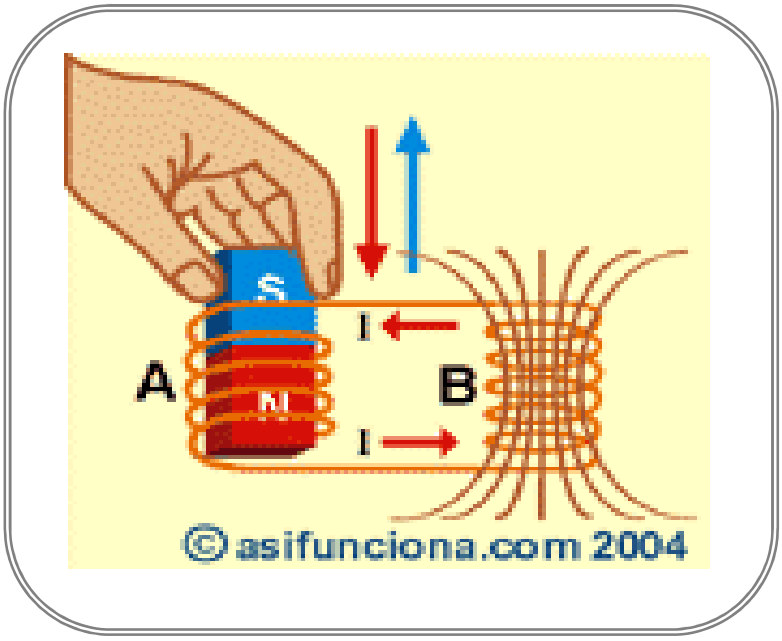


Cuando movemos un imán permanente por el interior de las espiras de alambre de cobre de una bobina. Solenoide, se induce una fuerza electromotriz **(FEM)** o flujo de corriente eléctrica producida por el campo Magnético que movemos manualmente. Por medio de un instrumento denominado galvanómetro **(G)**. Conectado al circuito de la bobina solenoide, se puede comprobar la existencia de esa fuerza. Electromotriz o corriente eléctrica circulando por las espiras del alambre de cobre. El galvanómetro. Constituye un instrumento destinado a medir corrientes eléctricas de muy poca tensión e intensidad.

En la ilustración de la izquierda se puede apreciar que al introducir un imán permanente por el interior de la bobina solenoide **(A)**, con el polo norte **(N)** hacia abajo, la aguja del galvanómetro **(G)** se desvía hacia la derecha. Pero si invertimos la polaridad del imán e introducimos su polo sur dentro de las espiras de la bobina, tal como se puede observar en la parte derecha de la misma ilustración, veremos que la aguja se desvía hacia el lado contrario, debido a que el sentido del movimiento del flujo de electrones por el alambre de cobre cambia al invertirse la polaridad del imán.

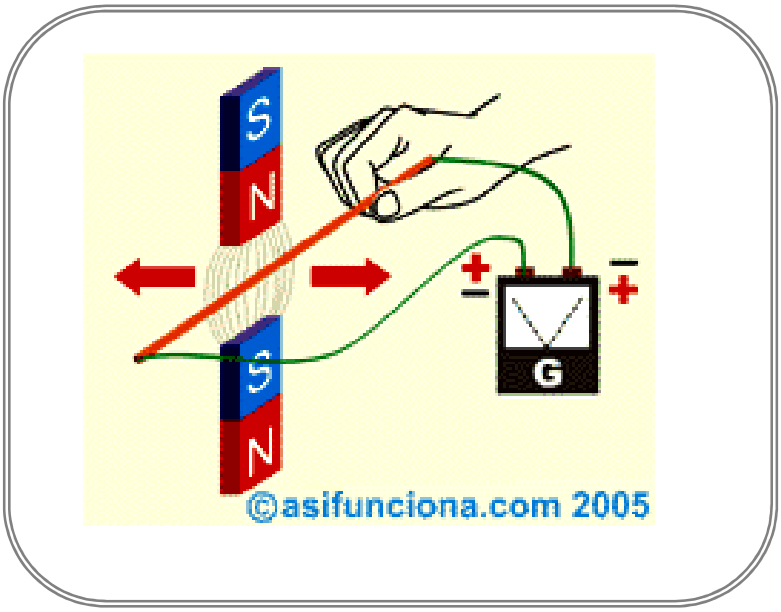
Si dejamos de mover el imán no se producirá inducción magnética alguna y la aguja del galvanómetro se detiene en **"0"**, indicando que tampoco hay flujo de corriente. Eso demuestra que para que exista inducción magnética y se genere una fuerza electromotriz **(FEM)** o corriente eléctrica en el enrollado de una bobina, no sólo se precisa la existencia de un campo magnético, sino que éste se encuentre en movimiento, para lo cual será necesario que el imán se desplace continuamente por el interior del enrollado de la bobina. Si a continuación sustituimos el galvanómetro en el circuito de la bobina **(A)** e instalamos en su lugar otra bobina solenoide **(B)** y movemos de nuevo el imán por el interior de **(A)**, se creará un campo "electromagnético" en **(B)**, provocado por la corriente eléctrica que fluye ahora por las espiras de esa segunda bobina.

La generación de la corriente eléctrica o fuerza electromotriz que se produce. por "inducción magnética" cuando movemos un imán por el interior de la. bobina solenoide **(A)**, provoca la circulación de corriente eléctrica por la. bobina **(B)** y la aparición a su alrededor de un "campo electromagnético". Durante todo el tiempo que mantengamos moviendo el imán por el interior de. la bobina **(A)**.



1.9 Inducción electromagnética

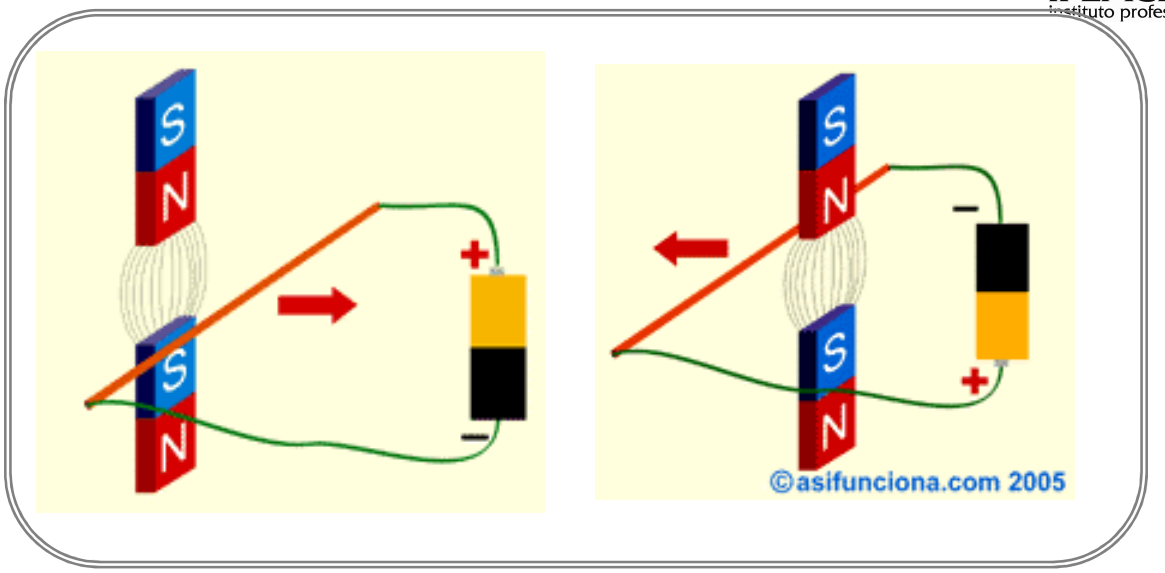
Si tomamos un alambre de cobre o conductor de cobre, ya sea con forro aislante o sin éste, y lo movemos de un lado a otro entre los polos diferentes de dos imanes, de forma tal que atraviese y corte sus líneas de fuerza magnéticas, en dicho alambre se generará por inducción una pequeña fuerza electromotriz (FEM), que es posible medir con un galvanómetro, instrumento semejante a un voltímetro, que se utiliza para detectar pequeñas tensiones o voltajes.



Este fenómeno físico, conocido como "inducción magnética" se origina cuando el conductor corta las líneas de fuerza magnéticas del imán, lo que provoca que las cargas eléctricas contenidas en el metal del alambre de cobre (que hasta ese momento se encontraban en reposo), se pongan en movimiento creando un flujo de corriente eléctrica. Es preciso aclarar que el fenómeno de inducción magnética sólo se produce cada vez que movemos el conductor a través de las líneas de fuerza magnética. Sin embargo, si mantenemos sin mover el alambre dentro del campo magnético procedente de los polos de los dos imanes, no se inducirá corriente alguna.

En esa propiedad de inducir corriente eléctrica cuando se mueve un conductor dentro de un campo magnético, se basa el principio de funcionamiento de los generadores de corriente eléctrica.

Ahora bien, si en vez de moverlo colocáramos el mismo conductor de cobre dentro del campo magnético de los dos imanes y aplicamos una diferencia de potencial, tensión o voltaje en sus extremos, como una batería, por ejemplo, el campo magnético que produce la corriente eléctrica alrededor del conductor al circular a través del mismo, provocará que las líneas de fuerza o campo magnético de los imanes lo rechacen. De esa forma el conductor se moverá hacia un lado o hacia otro, en dependencia del sentido de circulación que tenga la corriente, provocando que rechace el campo magnético y trate de alejarse de su influencia.



El campo magnético que se crea alrededor del alambre de cobre o conductor cuando fluye la corriente eléctrica, hace que éste se comporte también como si fuera un imán y en esa propiedad se basa el principio de funcionamiento de los motores eléctricos.

En la actualidad la magnetita no se emplea como imán, pues se pueden fabricar imanes permanentes artificiales de forma industrial a menor costo.

En la actualidad se fabrican imanes permanentes artificiales, para su empleo, por ejemplo, en la fabricación de altavoces para equipos de audio, dinamos para el alumbrado en las bicicletas, pequeños motores para uso en juguetes o en equipos electrónicos, en la junta hermética de la puerta de los frigoríficos y, por supuesto, en la fabricación de brújulas.

2. LEYES DE KIRCHHOFF

Conceptos de circuitos

Estas leyes tratan sobre el comportamiento de circuitos eléctricos con asociaciones de componentes. La base para una deducción rigurosa de estas leyes, está en la conservación de la carga eléctrica y la energía.

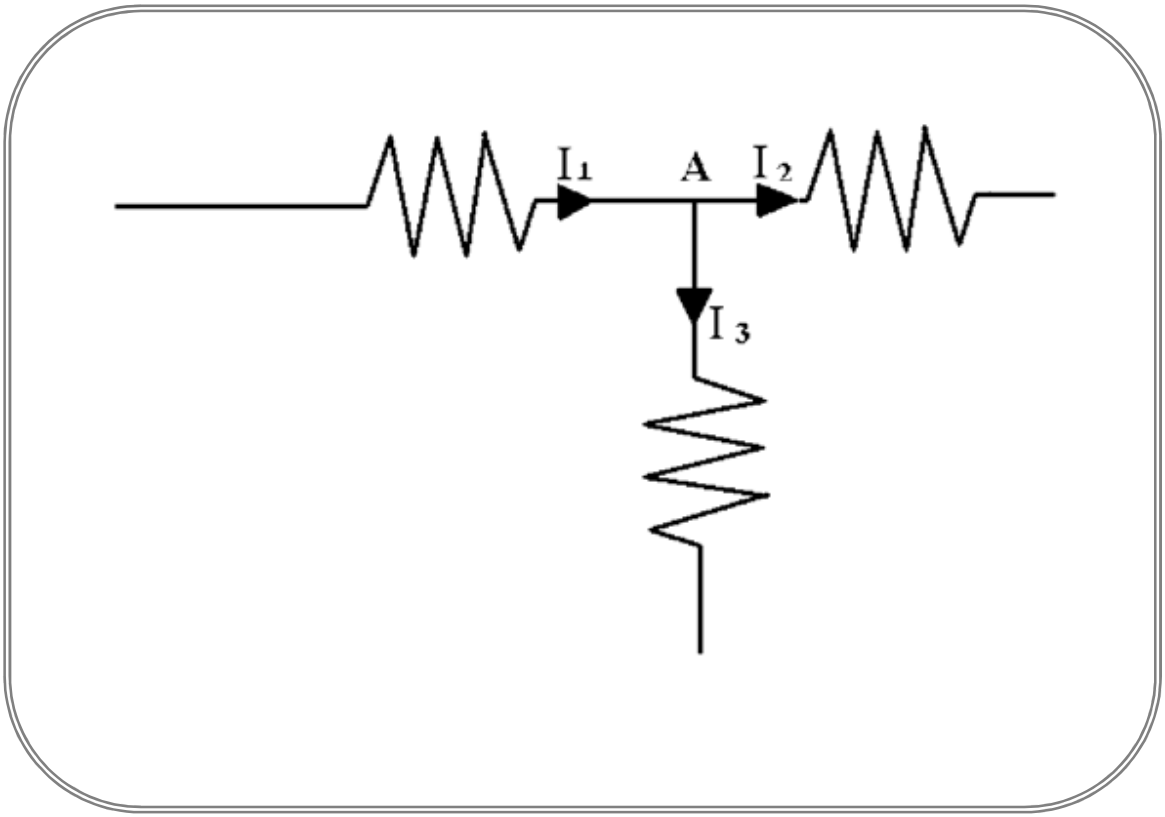
¿Qué es un circuito?

- Una definición general de circuito puede ser la de un camino cerrado que puede seguir la corriente eléctrica.

2.2 Ley de Corrientes de Kirchhoff

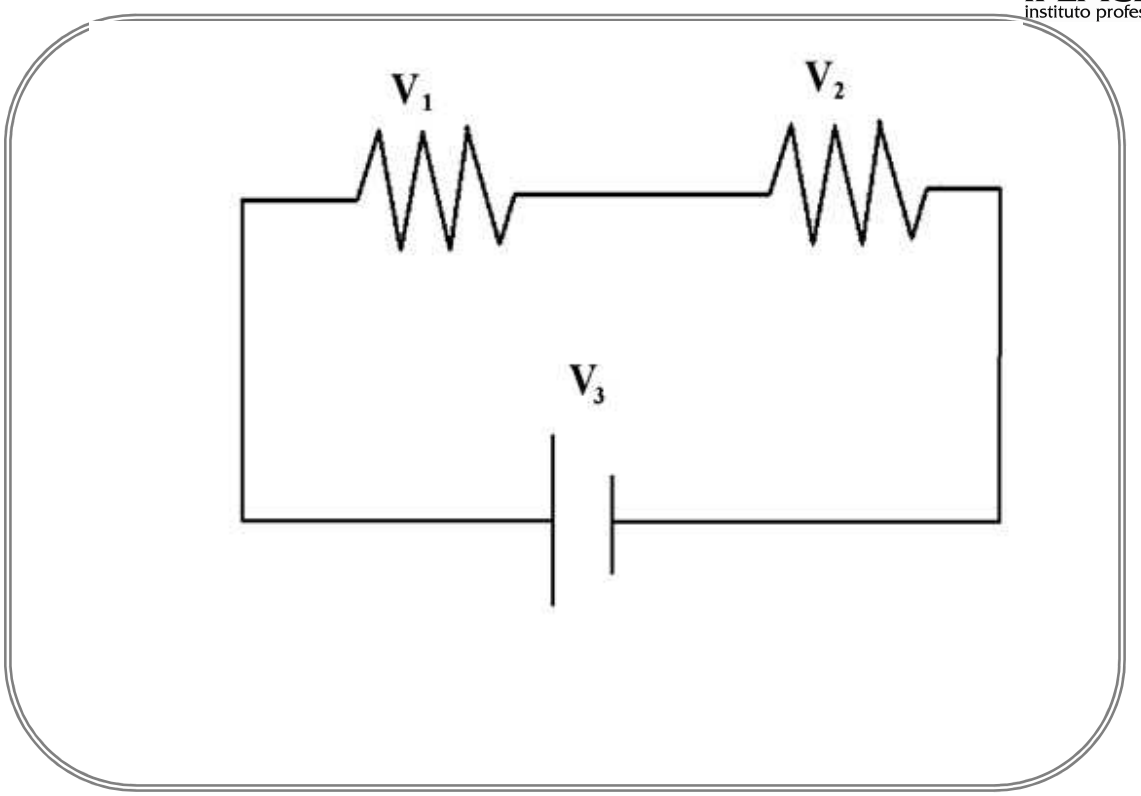
La primera ley, se conoce también como la ley de las corrientes. Ésta dice que la suma de intensidades de corriente que llegan a un punto común es igual a la suma de intensidades que salen de él. Si consideramos positivas las corrientes que llegan y negativas las que salen, esta ley establece que la suma algebraica de las intensidades de todas las corrientes sobre un punto común es cero.

Por ejemplo, en la figura 3, sobre el punto común A, se tiene:



2.3 Ley de Los voltajes (tensiones)

La segunda ley, se conoce también como la ley de los voltajes. Ésta dice que en un circuito cerrado, la suma algebraica de las fuerzas electromotrices aplicadas, o subidas de tensión, es igual a la suma algebraica de las caídas de tensión en todos los elementos pasivos. Por ejemplo, en la figura 4, V3 es generado por una fuente de voltaje, V1 y V2 son las caídas de voltaje de las resistencias (elementos pasivos), entonces:



Aplicaciones de las leyes de Kirchoff y de Ohm

1.-Mediciones de corriente:

El aparato que mide corriente se llama amperímetro. Para medir la corriente que pasa por alguna componente, basta conectar en serie el amperímetro con la componente. Un amperímetro ideal, tiene resistencia cero para no afectar el circuito.

2.-Mediciones de voltaje:

El aparato que mide voltaje se llama voltímetro. Para medir la caída de voltaje que produce alguna componente, basta conectar en paralelo el voltímetro a la componente. Un voltímetro ideal, tiene resistencia infinita para no afectar al circuito.

RAMO: RIESGOS ELECTRICOS

UNIDAD II

MARCO LEGAL, CONDUCTORES Y AISLANTES

1.- MARCO LEGAL

Hoy con la intención de conocer las normas que rige la electricidad veremos la legislación eléctrica buscando obtener información respecto de los diversos ámbitos de la Electricidad; por ejemplo, entre otras cosas, podrá conocer temáticas como: Concesiones de Distribución, Normas técnicas, por ejemplo.

Veamos algunas normas, decretos y leyes relacionadas con la electricidad

1.1 Decreto Supremo N°327

Fija Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos.

Este reglamento señala como se deben realizar los servicios eléctricos en nuestro país, en donde los títulos que rigen este decreto supremo son:

1.1.1 El Título I:

Disposiciones Generales

Este título aplicará a las siguientes formar de administración:

a) Las empresas de generación de electricidad; las empresas de transporte de electricidad; las empresas concesionarias que efectúen servicio público de distribución; los Centros de Despacho Económico de Carga, en adelante CDEC; y a los usuarios de energía e instalaciones eléctricas. Para los efectos de este reglamento, se entenderá como conceptos sinónimos el transporte y la transmisión de energía eléctrica.

b) Las instalaciones de generación, de transporte, subestaciones de transformación e instalaciones de distribución de energía eléctrica, y las demás instalaciones eléctricas.

c) Las relaciones de las empresas eléctricas con el Estado, con las Municipalidades, con otras entidades de servicio eléctrico y con los particulares.

No estarán sometidas a las disposiciones del presente reglamento las concesiones de ferrocarriles eléctricos. No obstante, deberán ajustarse a sus disposiciones las instalaciones destinadas a la producción, transporte y distribución de la energía eléctrica para el funcionamiento de ellos.

Para los efectos del presente reglamento se entiende por empresas concesionarias a los concesionarios de servicio público de distribución, a los de centrales hidroeléctricas, a los de subestaciones eléctricas y a los de transporte.

El resto de los títulos decreto supremo son:

TÍTULO II: CONCESIONES, PERMISOS Y SERVIDUMBRES

Donde incluye: Concesiones provisionales, Concesiones definitivas, caducidad transferencia y extensión de concesiones, los permisos, servidumbres.

TÍTULO III: RELACIONES ENTRE PROPIETARIOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CLIENTES Y AUTORIDAD

TÍTULO IV: INTERCONEXIÓN DE INSTALACIONES

TÍTULO V: INSTALACIONES Y EQUIPOS ELECTRICOS

TÍTULO VI: CALIDAD DE SERVICIO Y PRECIOS

TÍTULO VII: MULTAS Y SANCIONES

TÍTULO VIII: DISPOSICIONES VARIAS

TÍTULO IX: DISPOSICIONES TRANSITORIAS

1.2 El Decreto Supremo N°158

Este decreto supremo, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, publicado en el diario oficial el 09 de octubre del 2003, modifica el Decreto Supremo N°327 de 12 de diciembre de 1997, de minería que aprueba el reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos, esto fue producto que se consideró lo siguiente:

1.- Que es conveniente establecer medidas y procedimientos aplicables en el supuesto de un decreto de razonamiento a consecuencia de fallas prolongadas de centrales eléctricas o de situaciones de sequia.

2.- Que los avances experimentados en materia de cálculos de peajes de transmisión y el monto del peaje básico de transmisión no esté estrictamente relacionado con el uso de la red de transmisión.

3.- Que es recomendable normar los procedimientos de determinación del precio de nudo.

1.3 Decreto con Fuerza de Ley (DFL) N°4

Fue publicado el 05 de febrero de 2007, fija texto refundido coordinado y sistematizado del decreto con fuerza de Ley N°1 de Minería de 1982, Ley general de servicios eléctricos, en materia de energía eléctrica.

TITULO I
Disposiciones Generales

Están comprendidas en D.F.L. Nº 1, de las disposiciones de la presente ley: 1982, Minería:

1.- Las concesiones para establecer:

a) Centrales hidráulicas productoras de energía eléctrica.
Los derechos de aprovechamiento sobre las aguas terrestres que se destinen a la producción de energía eléctrica se regirán por las disposiciones del Código de Aguas;

b) Subestaciones eléctricas;

c) Líneas de transporte de la energía eléctrica.

2.- Las concesiones para establecer, operar y explotar las instalaciones de servicio público de distribución.

3.- Los permisos para que las líneas de transporte y distribución de energía eléctrica no sujetas a concesión puedan usar y/o cruzar calles, otras líneas eléctricas y otros bienes nacionales de uso público.

4.- Las servidumbres a que están sujetos:

a) Las heredades, para la Ley Nº 19.940 construcción, establecimiento y Art. 4º Nº 1 explotación de las instalaciones y obras D.O. 13.03.2004 anexas que posean concesión, mencionadas en los números 1 y 2 de este artículo;

b) Las postaciones y líneas eléctricas, en aquellas partes que usen bienes nacionales de uso público o heredades haciendo uso de las servidumbres que se mencionan en la letra anterior, para que personas distintas al propietario de esas instalaciones las puedan usar en el tendido de otras líneas o para que las Municipalidades puedan hacer el alumbrado público.

5.- El régimen de precios a que Ley Nº 19.674 están sometidas las ventas de energía Art. Único eléctrica, el transporte de electricidad Nº 1º y demás servicios asociados al D.O. 03.05.2000 suministro de electricidad o que se Ley Nº 19.940 presten en mérito de la calidad de Art. 4º Nº 2 concesionario de servicio público. D.O. 13.03.2004

6.- Las condiciones de seguridad a que deben someterse las instalaciones, maquinarias, instrumentos, aparatos, equipos, artefactos y materiales eléctricos de toda naturaleza y las condiciones de calidad y seguridad de los instrumentos destinados a registrar el consumo o transferencia de energía eléctrica.

7.- Las relaciones de las empresas eléctricas con el Estado, las Municipalidades, otras entidades de servicio eléctrico y los particulares.

<u>Otros temas del Decreto con Fuerza de LEY:</u>

TITULO II
De las Concesiones y Permisos

TITULO III
De los Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica

TITULO IV
De la Explotación de los Servicios Eléctricos y del Suministro

TITULO V
De las Tarifas

TITULO VI
Del Panel de Expertos

TITULO VII
Disposiciones Penales

TITULO VIII
Disposiciones Varias

1.4 La Norma Chilena N°350 (NCH 350)

Instalaciones Eléctricas Provisionales en la Construcción

1.4.1 Primero aprendamos un poco sobre las normas chilenas:

La norma chilena (NCH)

Una norma chilena es un documento de conocimiento y uso público, aprobado por consenso y por un organismo reconocido. La norma establece, para usos comunes y repetidos, reglas, criterios o características para las actividades o sus resultados y procura la obtención de un nivel óptimo de ordenamiento en un contexto determinado.

Como fue elaborada una norma chilena

En realidad para elaborar una norma primero se debe detectar la necesidad de regular cierta área y tener siempre en cuenta las normativas internacionales acerca del tema. Si no existen normas al respecto – por tratarse de materias muy específicas o demasiado nuevas – se buscan normas regionales o de empresas de ese sector.

- Detección de la necesidad por el INN o por el sector público o privado.
- Constitución del comité técnico que elabora el anteproyecto de la norma.
- Una vez redactado el proyecto se somete a consulta pública. En esta instancia participan las autoridades competentes, los productores y los representantes del mundo de la ciencia y la tecnología.
- Las observaciones de la consulta pública son llevadas nuevamente al Comité Técnico, que resuelve su pertinencia.
- Se llega a un texto oficial y aceptado por todos que se propone al Consejo del INN para su aprobación.

1.4.2 Las Normas Chilenas y su obligatoriedad

En nuestro país las normas chilenas y normas chilenas oficiales son en su origen de carácter voluntario. Se transforman de cumplimiento obligatorio al ser citadas en algún tipo de reglamentación (resolución, decreto o ley), ya sea en forma particular (ej. cúmplase con norma chilena NCh 382) o en forma general (ej. cúmplase con las normas chilenas sobre elementos de seguridad).

1.4.3 La NCH 350 en Chile (resumen)

La norma chilena NCh 350 sobre Instalaciones Eléctricas Provisionales en la Construcción establece los requisitos mínimos que estas instalaciones deben cumplir.

En este sentido, los responsables de las obras en construcción tienen que dar la debida importancia a este tipo de instalaciones, tanto en su ejecución como en la verificación periódica de su estado de conservación.

Comúnmente estas instalaciones, a medida que avanza la obra, se van modificando en sus requerimientos, creando condiciones de riesgo para las personas y también para la propia instalación.

La prevención de accidentes con energía eléctrica implica poder utilizar una instalación eléctrica sin riesgos para:

- Las personas.

- Los conductores que llevan la energía eléctrica.

- Los dispositivos de control y operación de la instalación.

A través de la presente información se entrega información con el objeto de prevenir accidentes como consecuencia de su uso y actividades en torno a ellas, veamos parte de la norma chilena 350.

1.− OBJETIVO

1.1.− Esta Norma tiene por objeto fijar las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo, con el fin de salvaguardar a las personas que las operan o hacen uso de ellas y preservar el medio ambiente en que han sido construidas.

1.2.− Esta Norma contiene esencialmente exigencias de seguridad. Su cumplimiento, junto a un adecuado mantenimiento, garantiza una instalación básicamente libre de riesgos; sin embargo, no garantiza necesariamente la eficiencia, buen servicio, flexibilidad y facilidad

de ampliación de las instalaciones, condiciones éstas inherentes a un estudio acabado de cada proceso o ambiente particular y a un adecuado proyecto.

1.3.− Las disposiciones de esta Norma están hechas para ser aplicadas e interpretadas por profesionales especializados; no debe entenderse este texto como un manual de instrucciones o adiestramiento.

2.− ALCANCE

2.1.− Las disposiciones de esta Norma se aplicarán al proyecto, ejecución y mantenimiento de las instalaciones de consumo cuya tensión sea inferior a 1000 V.

2.2.− En atención a sus características, tanto técnicas como administrativas, las instalaciones eléctricas de consumo en vías públicas concesionadas se clasifican como instalaciones de consumo y por ello quedan dentro del alcance de aplicación de las disposiciones de esta norma.
2.3.− En general, las disposiciones de esta Norma no son aplicables a las instalaciones eléctricas de vehículos, sean éstos terrestres, marítimos o aéreos, a instalaciones en faenas mineras subterráneas, a instalaciones detracción ferroviaria, ni a instalaciones de comunicaciones, señalización y medición, las cuales se proyectarán, ejecutarán y mantendrán de acuerdo a las normas específicas para cada caso.

2.4.− Esta Norma modifica y reemplaza en forma definitiva a la Norma NCh Elec 4/84.

2.5.− De acuerdo a lo establecido en la Ley Nº 18.410, cualquier duda en cuanto a la interpretación de las disposiciones de esta Norma será resuelta por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, en adelante SEC

2.6.− Las disposiciones de esta Norma tendrán las calidades de exigencias y recomendaciones; las exigencias se caracterizarán por el empleo de las expresiones se debe, deberá y su cumplimento será de carácter obligatorio, en tanto en las recomendaciones se emplearán las expresiones se recomienda, se podrá o se puede y su cumplimiento será de carácter opcional, si bien, en el espíritu de la Norma, se considera quela sugerida es la mejor opción.

Se incluyen en esta versión Notas Aclaratorias, identificadas en el texto por la sigla destacada NA y escritas en cursiva. Dichas notas no forman parte de las disposiciones de la Norma y su finalidad es exclusivamente permitir una mejor compresión y aplicación de estas últimas.

3.− REFERENCIAS

3.1.− Esta Norma contiene referencias a las siguientes Normas:

- NCh Elec 2/84 Elaboración y presentación de proyectos

- NSEG 5 En 71 Instalaciones de corrientes fuertes
- NSEG 6 En 71 Cruces y paralelismos en líneas eléctricas
- NSEG 8 en 71 Tensiones normales
- NSEG 20 En 78 Subestaciones interiores
- CEI 529 Grados de protección proporcionados por cajas o carcasas
- NCh 815 Of/95 Tubos de PVC rígido − Métodos de ensayo

NCh 2015 Of/86 Tubos flexibles de material plástico auto extinguible para canalizaciones eléctricas –

Especificaciones

- NFPA70 Código Eléctrico Nacional − EE.UU.
- NF F 16−101 Comportamiento frente a la acción del fuego − Selección de materiales – Francia
- NF F 16−102 Comportamiento frente a la acción del fuego − Selección de materiales. Aplicación a equipos eléctricos − Francia

4.− TERMINOLOGIA

4.1.− Para los efectos de aplicación de esta Norma, los términos que se dan a continuación tienen el significado que se indica.

4.1.1.− ACCESIBLE

4.1.1.1.− Aplicado a canalizaciones: Son aquellas canalizaciones que pueden ser inspeccionadas, sometidas a mantenimiento o modificadas, sin afectar la estructura de la construcción o sus terminaciones.

4.1.1.2.− Aplicado a equipos: Son aquellos equipos que no están protegidos mediante puertas cerradas con llave, barreras fijas u otros medios similares.

4.1.2.− ACCESIBLE FÁCILMENTE: Son aquellas canalizaciones o equipos accesibles que pueden ser alcanzados sin necesidad de trepar, quitar obstáculos, etc., para repararlos, inspeccionarlos u operarlos.

4.1.3.− ACCESORIO

4.1.3.1.− Aplicado a materiales: Material complementario utilizado en instalaciones eléctricas, cuyo fin es cumplir funciones de índole más bien mecánicas que eléctricas.

4.1.3.2.− Aplicado a equipos: Equipo complementario necesario para el funcionamiento del equipo principal.

4.1.4.− AISLACIÓN: Conjunto de elementos aislantes que intervienen en la ejecución de una instalación o construcción de un aparato o equipo y cuya finalidad es aislar las partes activas.

4.1.5.− AISLAMIENTO: Magnitud numérica que caracteriza la aislación de un material, equipo o instalación.

4.1.6.− ALUMBRADO DE EMERGENCIA: Término genérico aplicado a sistemas de iluminación destinados a ser usados en caso de falla de la iluminación normal. Su objetivo básico es permitir la evacuación segura de lugares en que transiten, permanezcan o trabajen personas y por ello se dividen en los tipos siguientes, según las condiciones de aplicación:

4.1.6.1.− Alumbrado de seguridad: Parte del alumbrado de emergencia destinado a garantizar la seguridad de las personas que evacúan una zona determinada o que deben concluir alguna tarea que no es posible abandonar en ciertas condiciones.

4.1.11.1.− A la vista: Canalizaciones que son observables a simple vista.

4.1.11.2.− Embutida: Canalizaciones colocadas en perforaciones o calados hechos en muros, losas o tabiques de una construcción y que son recubiertas por las terminaciones o enlucidos de éstos.

4.1.11.3.− Oculta: Canalizaciones colocadas en lugares que no permiten su visualización directa, pero que son accesibles en toda su extensión. Este término es aplicable también a equipos.

4.1.11.4.− Pre-embutida: Canalización que se incorpora a la estructura de una edificación junto con sus enfierraduras estructurales.

4.1.11.5.− Subterránea: Canalizaciones que van enterradas.

4.1.12.− CARGA: Es todo artefacto, equipo o instalación cuyo mecanismo u operación requiere del consumo de energía eléctrica para su funcionamiento. Dependiendo de su comportamiento las cargas pueden ser:

4.1.12.1.− Carga lineal: Es una carga cuyas características no afectan las formas de onda de tensión y corriente durante su período de funcionamiento.

4.1.12.2.− Carga no lineal: Es una carga cuyas características afectan los parámetros de la alimentación modificando la forma de onda de la tensión y/o corriente durante su período de funcionamiento.

4.1.13.− CIRCUITO: Conjunto de artefactos alimentados por una línea común de distribución, la cual es protegida por un único dispositivo de protección.

CONDUCTOR: hilo metálico, de cobre dentro del alcance de esta norma, de sección transversal frecuentemente cilíndrica o rectangular, destinado a conducir corriente eléctrica. De acuerdo a su forma constructiva podrá ser designado como alambre, si se trata de una sección circular sólida única, barra si se trata de una sección rectangular o conductor cableado si la sección resultante está formada por varios alambres iguales de sección menor.
.
4.1.14.1.− Conductor activo: Conductor destinado al transporte de energía eléctrica. Se aplicará esta calificación a los conductores de fase y neutro de un sistema de corriente alterna o a los conductores positivo, negativo y neutro de sistemas de corriente continua.

4.1.14.2 Conductor aislado: Conductor en el cual su superficie está protegida de los contactos directos mediante una cubierta compuesta de una o más capas concéntricas de material aislante

4.1.14.3 Conductor desnudo: Conductor en el cual su superficie está expuesta al contacto directo sin protección de ninguna especie

4.1.15.− CONECTOR: Dispositivo destinado a establecer una conexión eléctrica entre dos o más conductores.

4.1.16.− DEMANDA: La demanda de una instalación, sistema eléctrico o parte de él es la carga de consumo en el punto considerado, promediada sobre un intervalo de tiempo dado. Se expresa en unidades de potencia.

4.1.16.1.− Demanda máxima: Es la mayor demanda de la instalación, sistema eléctrico o parte de él que ocurre en un período de tiempo dado. Se expresa en unidades de potencia.

4.1.16.1.− Demanda, factor de: Es la razón, definida sobre un período de tiempo dado, entre la demanda máxima de la instalación o sistema y la carga total conectada. Se entenderá por carga total conectada a la suma aritmética de las potencias nominales de los artefactos o componentes de la instalación. Se puede también aplicar esta definición a partes de la instalación o sistema.

4.1.17.− DIVERSIDAD, FACTOR DE: Es la razón entre la suma de las demandas máximas individuales de cada una de las subdivisiones de una instalación o sistema y la demanda máxima de la instalación o sistema completo.

4.1.18.− EQUIPO ELÉCTRICO: Término aplicable a aparatos de maniobra, regulación, seguridad o control y a los artefactos y accesorios que forman parte de una instalación eléctrica. Dependiendo de su forma constructiva y características de resistencia a la acción del medio ambiente se calificarán según los tipos detallados a continuación y de acuerdo al cumplimiento de la Norma específica sobre la materia.

4.1.18.1.− Equipo abierto: Equipo que no cuenta con ningún tipo de protección contra el acceso de materiales extraños, contra la entrada de agua o humedad ni barreras que impidan alcanzar partes energizadas. Su forma constructiva únicamente los hace aptos para ser instalados en recintos techados y en ambientes secos y limpios, accesibles sólo a personal calificado.

4.1.18.2.− Equipo a prueba de goteo: Equipo construido de modo que al quedar sometido a la caída de gotas de agua, con una inclinación no superior a 15º, éstas no penetran en su interior.

4.1.18.3.− Equipo a prueba de lluvia: Equipo construido de modo que al quedar sometido a la acción de una lluvia, con una inclinación de hasta 60º, ésta no penetra en su interior.

4.1.18.4.− Equipo a prueba de salpicaduras: Equipo construido de modo que al quedar sometido de salpicaduras de agua en cualquier dirección, ésta no penetra en su interior.

4.1.18.5.− Equipo impermeable: Equipo construido de modo que pueda trabajar sumergido en agua sin que ésta penetre en su interior.

4.1.18.6.− Equipo a prueba de polvo: Equipo construido de modo que al ser instalado en ambientes con polvos en suspensión, éstos no penetren en su interior.

4.1.19.− FALLA: Unión entre dos puntos a potencial diferente o ausencia temporal o permanente de la energía al interior o exterior de una instalación, que provoca una condición anormal de funcionamiento de ella, de circuitos o de parte de éstos. Estas fallas pueden ser de los tipos siguientes:

4.1.19.1.− Cortocircuito: Falla en que su valor de impedancia es muy pequeño, lo cual causa una circulación de corriente particularmente alta con respecto a la capacidad normal del circuito, equipo o parte de la instalación que la soporta.

4.1.19.2.− Falla a masa: Es la unión accidental que se produce entre un conductor activo y la cubierta o bastidor metálico de un aparato, artefacto o equipo eléctrico.

4.1.19.3.− Falla a tierra: Unión de un conductor activo con tierra o con equipos conectados a tierra.

4.1.19.4.− Falla fugaz: Es aquella en que el agente que ocasiona la falla no deja evidencia ni rastro

4.1.19.5.− Falla instantánea: Falla que tiene un tiempo de duración comprendido entre 0,5 y 30 ciclos.

4.1.19.6.− Falla permanente: Falla que tiene una duración suficiente como para que los parámetros del circuito o parte del sistema en falla alcancen sus valores estables.

4.1.19.7.− Falla transitoria: Falla que tiene tiempo de duración comprendido entre 30 ciclos y 3 segundos.

4.1.19.8.− Microcorte: Corte de energía con un tiempo de duración comprendido entre 0,1 segundos y 3 minutos.

4.1.19.9.− Sobrecorriente: Corriente que sobrepasa el valor permisible en un circuito eléctrico; puede ser provocada por cualquiera de las condiciones de falla definidas en los párrafos precedentes o por una sobrecarga

4.1.20.− INSTALACION DE CONSUMO: Instalación eléctrica construida en una propiedad particular, destinada al uso exclusivo de sus usuarios o propietarios, en la cual se emplea la energía eléctrica con fines de uso doméstico, comercial o industrial.

4.1.21.− INSTALACIONES EN LUGARES PELIGROSOS: Instalaciones erigidas en lugares o recintos en los cuales se manipulan elementos o agentes de fácil inflamación o explosivos. En el montaje de estas instalaciones se deberá emplear alguno de los siguientes tipos de equipos, según sea el material o agente que origine el riesgo.

4.1.21.1.− Equipo Antideflagrante: Equipo o material eléctrico susceptible de inflamar una atmósfera explosiva contenido en una envoltura capaz de soportar en su interior la explosión de una mezcla gaseosa combustible y que al mismo tiempo impide que dicha explosión se propague a la atmósfera circundante. Su temperatura exterior de funcionamiento debe ser tal que no alcance el punto de inflamación de la mezcla explosiva que los rodea.

4.1.21.2.− Equipos de seguridad aumentada: Son equipos en los cuales el riesgo de inflamación del material combustible se evita impidiendo la producción de chispas o calentamientos excesivos por medio de una alta calidad constructiva, con un índice de protección mínimo de IP547.

1.4.4 El empalme aéreo

El empalme

Es la interconexión entre la red de distribución de energía eléctrica y la instalación del usuario.

1.4.5 Las situaciones de riesgo

a) No se debe usar tableros eléctricos colgados.

b) No se debe conectar los conductores a los enchufes hembras sin aislación. Lo anterior entraña un alto potencial de riesgo de electrocución.

c) Los tableros eléctricos se deben adosar firmemente a los postes, muros, tabiques, etc., para evitar movimientos en el momento de la conexión o desconexión de una extensión auxiliar.

d) En los costados de los tableros eléctricos deben ir montados los enchufes de seguridad.

e) Siempre se deben usar enchufes machos para la conexión.

f) No se deben usar clavos para afianzar los conductores en una distribución de energía eléctrica.

   El roce de los conductores con los clavos produce fuga de corriente a tierra y la pérdida de aislación de los conductores.

   En consecuencia, tendremos una alta posibilidad de un choque eléctrico.

g) Las bajadas de conductores NO deben ejecutarse de contacto con los conductores principales.

h) NO se debe dejar los extremos de los conductores de bajada sin aislación.

i) La conexión de los conductores de bajada debe ejecutarse con cinco vueltas en el conductor principal como mínimo y lo más cerca de los aisladores.

j) Las bajadas de los conductores deben ejecutarse siempre entubadas.

k) Las bajadas deben llegar siempre a un tablero de seguridad.

l) NO se deben ejecutar bajadas en los vanos de los postes.

Lo anterior presenta la posibilidad de cortocircuito entre los conductores por el roce entre ellos.

m) Recuerde que la conexión de los conductores a las líneas principales NO debe ser de contacto y los extremos de las bajadas deben llegar a un tablero de seguridad.

n) Las bajadas deben ejecutarse siempre en los postes, cerca de los aisladores.

o) NO se deben llevar los conductores de los alargadores o extensiones auxiliares a nivel de piso.

p) Los conductores de nivel de piso presentan alto riesgo potencial de accidentes por caídas del mismo nivel y electrocución por la pérdida de aislación de los conductores.

q) Las alimentaciones auxiliares deben llevarse siempre en forma aérea.

La manera correcta es con aisladores o piecerack, de este modo, la probabilidad de accidentes del trabajo disminuye, por otra parte, la vida útil de los conductores aumenta.

No se debe dejar las uniones de las conexiones eléctricas sin apretar y sin aislación, dado que presenta un alto riesgo de accidente del trabajo por choque eléctrico.

Recuerde que las uniones de conductores eléctricos llevan 5 vueltas a lo mínimo y deben ser aisladas. Las uniones que se realizan en los conductores deben ser ejecutadas con cinco (5) vueltas como mínimo y con un buen apriete para asegurar una buena conexión Eléctrica.

Además, la unión eléctrica debe ser protegida con cinta aislante para recuperar la aislación original del conductor y evitar el choque eléctrico.

1.4.6 El cortocircuito

Se tiene un cortocircuito cuando dos puntos a diferentes potenciales son puestos directamente en contacto. La corriente crece considerablemente con la destrucción de conductores y existe riesgo de incendio.

Algunas soluciones

Para despejar la falla de cortocircuito a la brevedad la instalación debe estar provista con interruptores automáticos, con la capacidad adecuada de la corriente de carga a servir para cada circuito de la instalación eléctrica y de respaldo un interruptor automático general de la misma instalación.

1.4.7 La sobrecarga

Observemos que se tiene una sobrecarga cuando existen demasiados equipos o herramientas portátiles conectados a un circuito, de modo que sobrepasan la potencia para la cual está calculado el mismo.

La sobrecarga produce calentamiento de los conductores principales y de los dispositivos de comando, con riesgo de incendio.

Para evitar el riesgo del calentamiento de los conductores principales y de los enchufes hembras debido a sobrecargas, se debe implementar tableros auxiliares con enchufes hembras de seguridad requeridos y con la alimentación eléctrica principal adecuada para la potencia a servir.

1.4.8 El interruptor diferencial

Como medida de seguridad, toda instalación eléctrica debe contener en el tablero eléctrico general, además de los interruptores automáticos, un interruptor diferencial general para proteger a las personas de los contactos con equipos energizados por fallas.

Algunas observaciones.

1) Si una protección diferencial se ha desenclavado, por sobre todo no busque reponer la tensión al equipo.

En primer lugar, por seguridad deberá detectar y eliminar la falla.

2) Utilizar de preferencia los interruptores diferenciales de 30 (mA) para la protección contra los contactos indirectos.

2.- LOS CONDUCTORES Y AISLANTES

Una introducción

Podemos definir como conductor eléctrico aquel componente de un sistema, capaz de permitir el paso continuo de una corriente eléctrica cuando es sometido a una diferencia de potencial entre dos puntos.

En general, toda forma de materia en estado sólido o líquido posee en algún grado propiedades de conductividad eléctrica, pero determinados materiales son relativamente buenos conductores y otros están casi totalmente desprovistos de esta propiedad.

Como ejemplo, los metales son los mejores conductores, mientras que otras substancias tales como óxidos metálicos, sales, minerales, y materiales fibrosas presentan una conductividad relativamente baja. Algunas otras substancias tienen una conductividad tan baja que se clasifican como no conductores denominándose con mayor propiedad dieléctricos o aislamientos eléctricos.

Los conductores eléctricos se utilizan para permitir el paso de una corriente eléctrica entre dos puntos con diferente potencial eléctrico. Cuando se presenta este paso de corriente eléctrica se dice que se ha establecido un circuito; el cual se puede definir por medio de cuatro propiedades eléctricas fundamentales:

La resistencia, inductancia, capacitancia y la resistencia de aislamiento.

Un conductor eléctrico es un elemento de un sistema constituido de un material de alta conductividad eléctrica que puede ser utilizado para el transporte de energía eléctrica.

En general y para nuestros fines, un conductor eléctrico consta de un filamento o alambre, de una serie de alambres cableados y/o torcidos, de material conductor, que se utiliza desnudo, o bien cubierto con material aislante. En aplicaciones donde se requieren grandes tensiones mecánicas se utilizan bronce, acero y aleaciones especiales. En aplicaciones electrónicas ultra finas y en pequeñas cantidades, se utilizan el oro, la plata y el platino como conductores.

2.1 Tipos de conductores

2.1.1 La importancia en la fabricación de los conductores eléctricos

Hoy en el mundo las materias primas más comúnmente utilizadas en la fabricación de conductores eléctricos son; Metales: cobre, aluminio, plomo y acero.

Algunos aislamientos: materiales termo-fijos, termoplásticos, resina y papel.

Veamos los Metales

a) El Cobre

Elemento químico monovalente, su símbolo químico es Cu. Es un metal sumamente dúctil y maleable de un color rojizo pardo brillante, y uno de los mejores conductores del calor y la electricidad. Existe abundantemente en la naturaleza, tanto en el estado nativo, como en la forma de diversos minerales constituidos por óxidos y sulfuros.

Metalurgia del Cobre:

En el beneficio del cobre se siguen dos procedimientos de acuerdo a su composición mineral. Los que contienen cobre nativo o en forma de sulfuros se someten al proceso de la fundición. Los óxidos se disuelven mediante reactivos adecuados, para recuperar después el cobre por precipitación y refinación.

El mineral de cobre se funde dos veces, la primera tiene por objeto obtener la mata de cobre, o sea, una mezcla de sulfuros de cobre y hierro, esta operación se realiza en hornos de reverbero, la segunda tiene por objeto afinar la mata separando el cobre del azufre y el hierro; esto se consigue fundiéndola en un horno convertidor en presencia de una corriente de aire constante. El azufre se escapa en forma de SO2 , y el hierro se convierte en óxido que se elimina en la escoria. El producto se conoce como cobre negro (Blister).

Finalmente, el cobre negro (Blister), se somete a la refinación electrolítica que se efectúa haciendo pasar una corriente eléctrica por una solución acidulada (Sulfato de Cobre CuSO4). El ánodo lo constituye el cobre que se desea refinar y para el cátodo se utiliza cobre puro. El cobre electrolítico suele poseer una pureza que fluctúa entre 99.92 y 99.96 por ciento y la mínima requerida para la fabricación de conductores eléctricos es de 99.9 por ciento.

b) El Aluminio

Elemento químico trivalente, su símbolo químico es Al.

Es un metal dúctil y maleable, de un color plateado, buen conductor de calor y electricidad. No existe en estado nativo en la naturaleza, siendo muy abundante en el silicato de alúmina y en bauxita (óxido de aluminio).

Metalurgia del Aluminio:

El beneficio del aluminio se logra por medios electrolíticos, mezclando la bauxita purificada (óxido de aluminio), con criolita fundida (fluoruro doble de aluminio y sodio), a una temperatura de 980oC en un crisol de carbón que sirve como electrodo negativo. El

electrodo positivo está formado por carbón. Entre ambos se hace pasar una corriente eléctrica continua depositándose el aluminio fundido en el fondo del crisol, de donde es sangrado hacia las lingoteras, y/o al proceso de colada continua para obtener rollos de alambrón de aluminio.

c) El Plomo

Su símbolo químico es Pb. Es un metal blando y maleable, muy denso, de color gris opaco, y se funde a 327.4C. El plomo existe en estado nativo pero es muy raro y se obtiene principalmente de la galena (sulfuro de Plomo).

Metalurgia del Plomo: Se principia por tostar la galena a fin de eliminar una parte de azufre. En el caso de concentrados se procede a fundirlos sin ninguna preparación, esto suele efectuarse en un alto horno. La carga consiste en una mezcla de galena, coque y algún fundente ferruginoso. De la parte inferior del horno se extrae el plomo fundido, refinándose después. El plomo puede alcanzar purezas hasta de un 99.90 por ciento.

d) El Acero

Es un metal derivado del hierro y está compuesto principalmente de hierro, carbono y manganeso.

Metalurgia del Acero:

El mineral de hierro se combina con coque y caliza, donde se transforman dentro de un horno en metal derretido mediante aire caliente. El metal fundido se deposita en el fondo, es sangrado y transportado a los hornos convertidores y por medio de aire caliente se le queman las impurezas y se añaden carbono y manganeso.

2.2 Resistividad y resistencia

Veamos la resistividad y resistencia de los conductores eléctricos, con la finalidad de conocerlos y aprender sus partes, materiales y métodos seguros de trabajo.

2.2.1 Los materiales aislantes necesarios para los conductores eléctricos

Introducción a los Aislantes

Antes de la Segunda Guerra Mundial, uno de los materiales que se conocía y empleaba era el hule natural. Era empleado en cables, como aislamiento y como cubierta exterior. En lo que a los plásticos se refiere, éstos estaban en esta época en su primera infancia. Para 1930 aparece el poli cloruro de vinilo (PVC), primer termoplástico que se empleó como aislamiento para baja tensión. Su uso original se limitó inicialmente a una temperatura de operación de 60°C, para lugares secos y para tensiones de 600 volts. Posteriormente se desarrollaron compuestos de PVC para 60 ó 75°C en presencia de agua, así como los de 90°C ó 105°C y con características mejoradas de baja emisión de humos, no propagadores de incendio y de bajo contenido de gas ácido.

Para estas épocas, antes de la invención de materiales sintéticos, estaba ampliamente difundido el uso de algodón y papel aislante en la fabricación de conductores eléctricos.

Poco antes de 1930, se introdujeron al mercado de los conductores eléctricos varios hules sintéticos con propiedades especiales. De éstos, el que ha logrado subsistir en su aplicación es el policloropreno (neopreno). Al principio se desarrolló como un material elastomérico especialmente resistente a los aceites, pero sus compuestos y formulaciones se fueron mejorando hasta lograr un excelente material para cubiertas de cables, que vino a reemplazar al hule natural.

Durante la Segunda Guerra Mundial, debido a la poca disponibilidad de hule natural, surgió la necesidad de desarrollar nuevos materiales sintéticos, que por lo menos sirvieran como aislamientos de baja tensión. Así por ejemplo, en Alemania, se implementó el hule estireno-butadieno, conocido como elastómero o hule GRS o SBR. En poco tiempo la industria de aislamientos para conductores eléctricos logró desarrollar una gran cantidad de varios y mejores aislamientos que hoy se manejan en la industria de la fabricación de conductores eléctricos.

En este sentido conviene aclarar que un elastómero es un material que es capaz de recuperarse rápida y fácilmente de fuertes deformaciones mecánicas, después de que se ha sometido a un proceso de vulcanización.

Un material termoplástico es un material que se puede suavizar por calentamiento o endurecerse por enfriamiento. Los materiales elastoméricos no cambian de forma con la aplicación de calor después de vulcanizados, en cambio un termoplástico sí cambia de forma al calentarse. Los materiales termo-fijos son compuestos que tienen la estructura

química de la familia de los plásticos, pero su estructura y su composición permite en ellos una vulcanización que les confiere cualidades de termo-estabilidad semejante a las de los compuestos elastoméricos o hules sintéticos.

A partir de 1945 se fueron desarrollando excelentes materiales tanto elastoméricos, como los termoplásticos que han permitido un excelente progreso en la industria de cables, entre estos materiales se tiene el hule butilo, el polietileno convencional, el polietileno de cadena cruzada o polietileno vulcanizado, el etileno propileno, el polietileno clorosulfonado, el polietileno clorado, el hule silicón, etc.

Uno de los materiales que se usó desde los albores de la industria manufacturera y aún se emplea en la baja fabricación de conductores eléctricos, es el papel aislante de grado eléctrico impregnado en aceite.

Este tipo de aislamiento se forma principalmente por la aplicación de tiras de papel en forma helicoidal sobre el conductor metálico. Se colocan sucesivamente, una capa tras otra, hasta obtener el espesor de aislamiento adecuado para la tensión (volts) a que va a operar el cable. Una vez logrado el espesor total del aislamiento, el cable se somete a un secado de alto vacío donde se le extrae la humedad para después pasar al proceso de impregnación en aceite de altas propiedades dieléctricas. Finalmente se aplica sobre el cable una cubierta protectora de plomo por medio de un proceso de extrusión. Esta es la construcción más simple de un cable aislado con papel impregnado y cubierta protectora de plomo, sin embargo, esta construcción puede ser más elaborada e incluir cintas semiconductoras, pantallas metálicas, cubiertas de plomo protegidas con yute, material termoplástico, o con armadura de acero.

De los valores de factor de potencia y de constante dieléctrica en este tipo de cable, se concluye que las pérdidas dieléctricas son mínimas y el espesor reducido del aislamiento de papel queda justificado por su alta rigidez dieléctrica.

La cubierta protectora de plomo sirve para proteger el aislamiento contra los agentes mecánicos, químicos, intemperie y humedad. Si por alguna razón la cubierta protectora se perfora, la entrada de humedad al aislamiento se hace inevitable. La presencia de humedad en el aislamiento causa la falla inmediatamente.

En los cables con aislamiento de papel, aunque se tiene especial cuidado para desgasificar el compuesto impregnante antes de usarlo, hay un límite de la cantidad de gas o aire que puede extraerse bajo las condiciones comerciales de fabricación. También el vacío aplicado a los tanques de impregnación antes de la admisión del compuesto, no puede ser en la práctica menor de 2 mm absolutos, así que siempre queda una cierta cantidad de aire que luego permanecerá en el dieléctrico de cable.

En un cable con aislamiento de papel impregnado sujeto a ciclos de calentamiento y enfriamiento, el compuesto se expande y como resultado, la cubierta de plomo se dilata.

Cuando el cable se enfría durante los períodos de baja carga, el compuesto se contrae, pero la cubierta de plomo no lo hace con él, debido a su inelasticidad, resultando entonces la formación de cavidades llenas de aire en el aire o gas, bajo la acción de un campo eléctrico, resulta una ionización del aire (efecto corona) con sus dos consecuencias perjudiciales al aislamiento: impactos sobre el material aislante y formación de ozono.

Las magníficas propiedades dieléctricas del papel impregnado, las da precisamente el aceite; sin embargo, por muy viscoso que sea, siempre habrá el riesgo de que emigre (desniveles entre los diferentes puntos del cable o diferencias de temperaturas a lo largo del mismo). Lo anterior deja a ciertas zonas con menos aceite que el necesario, dando como resultado el empobrecimiento dieléctrico de tales zonas y produciéndose el rompimiento de la rigidez dieléctrica del aislamiento.

En cables aislados con papel impregnado y cubiertas de plomo, la elaboración de las uniones y de las terminales es compleja y delicada, que requiere de personal especializado y forman puntos vulnerables en la instalación, pues la posibilidad de falla en esos puntos no es remota.

a) Hule Natural

Como se indicó antes, este material tuvo una época en que no tenía competencia para la fabricación de aislamientos y cubiertas de cables eléctricos; sin embargo, actualmente se emplea una cantidad muy pequeña para este propósito. Necesita formularse especialmente para lograr compuestos resistentes a la humedad, al calor, a los aceites y de resistencia mecánica alta. Actualmente no puede competir con los hules sintéticos (elastómeros), que se han desarrollado.

b) Hule SBR

Fue el primer material que reemplazó al hule natural, se le conoce como hule estireno-butadieno, hule BUNA-S, hule SBR o GRS. Aunque su resistencia mecánica es inferior al hule natural, puede formularse para lograr un compuesto de buenas cualidades eléctricas para cables de baja tensión, es más resistente al calor y humedad que el hule natural. Aún se emplea como aislamiento para tensiones hasta de 2 000 volts. Su uso se limita a aplicaciones de baja tensión porque hay otros aislamientos plásticos y elastoméricos que le llevan toda la ventaja para tensiones altas. Se emplea para temperaturas de operación hasta de 90°C.

c) Hule Butilo

Este material es un polímero del isobutileno-isopreno, Aunque este material fue desarrollado en 1940, tomó algunos años vencer algunos problemas técnicos de proceso para poder emplearlo como aislamiento de conductores eléctricos. Sin embargo, en 1947 se empezó a lograr una enorme producción de cables con este aislamiento para tensiones hasta de 35 000 volts.

Una vez que las dificultades de formulación y preparación de compuestos de hule butilo fueron vencidas, se logró tener un excelente aislamiento para alta tensión. Este aislamiento puede trabajar a temperaturas de operación continua hasta de 90°C. Es inherentemente resistente al ozono y a la humedad. Muy resistente al calor, de buena resistividad y rigidez dieléctrica, de buenas propiedades mecánicas y excelente resistencia a la deformación térmica.

Este es un buen aislamiento para cables, pero prácticamente ha sido desplazado por nuevos y mejores materiales.

d) Policloropleno (neopreno)

Alrededor de los años treinta se desarrolló para la industria de cables un nuevo material que parecía ser muy especial para aquella época. Con el paso del tiempo se convirtió en un caballito de batalla para aplicaciones como cubiertas de cables. Este material es el neopreno, y aunque tiene actualmente algunas limitaciones, aún se usa extensamente.

El neopreno, químicamente, es un polímero del cloropreno, que solo tiene aplicación como aislamiento eléctrico en conductores de baja tensión, 600 volts, ya que su contenido de cloro hace sus cualidades aislantes no sean muy elevadas. Su principal o mayor uso es, como se indicó antes, en la fabricación de cubiertas exteriores de cables aislados. Pueden prepararse compuestos de él con muy buena resistencia mecánica a la tensión y al rasgado. Por su estructura química es resistente al aceite, a los materiales químicos, al calor, la humedad y la flama. Es altamente resistente al ozono y al ataque de la intemperie.

En relación a su resistencia a la flama, como en su constitución contiene cloro, el material es prácticamente no propagador de ella, es decir, cuando a un compuesto de neopreno se le aplica una flama, continuará ardiendo mientras la flama se sostiene, pero en el momento en que ésta se retira, el neopreno deja de quemarse, por esta razón es muy usado como cubierta exterior no propagadora en aislamientos que sí propagan la flama.

El neopreno es capaz de operar un rango muy amplio de temperaturas; empleado como cubierta exterior puede trabajar a temperaturas tan bajas como -65oC y especialmente formulado puede usarse como aislamiento de cables con temperatura de operación de 90 C.

Existen más materiales que se utilizan hoy en día.

2.3 Los conductores desnudos

Veamos los conductores desnudos, sus tipos, funciones y características para nuestra mejor comprensión de ellos.

2.3.1 Conductores desnudos de cobre

Las especificaciones para alambre desnudo duro, semi-duro y suave.

Estos conductores se utilizan en instalaciones aéreas de distribución de energía eléctrica en alta o baja tensión, en barras colectoras de subestaciones y en sistemas de tierra.

Los alambres de cobre ofrecen una gran resistencia mecánica, sobre todo en temples duro y semiduro, y dado que el cobre es un material resistente a la corrosión, se les usa en áreas salinas o de alta contaminación.

2.3.2 Conductores desnudos de aluminio y sus aliaciones

Los conductores de aluminio puro, aleación 1350, se utilizan en líneas aéreas de distribución a baja tensión con distancias interpostales cortas, mientras que los de otras aleaciones de aluminio se usan en instalaciones con distancias interpostales más largas, aprovechando el incremento en la resistencia mecánica que proporcionan dichas aleaciones.

CONDUCTORES ELECTRICOS DE ALUMINIO DESNUDO DE ALEACIÓN SERIE 8000

Ofrecen ventajas significativas si se les compara con aquéllos elaborados con Aluminio Aleación 1350. Destacan entre ellas a su mejor comportamiento mecánico, que los acercan al que pueden ofrecer los conductores de cobre del mismo calibre: mayor flexibilidad, mayor maleabilidad y mayor resistencia a la comprensión.

2.3.3 Conductores desnudos de COOPERWELD

Los alambres y cables Copperweld, hacen que las construcciones de líneas aéreas con claros inter-postales largos, sean seguras y económicas, ya que se complementan la alta resistencia mecánica del acero y la conductividad del cobre en una sola unidad. Para aumentar la conductividad de los cables, se mezclan Conductores Copperweld con conductores de cobre obteniéndose cables de alta conductividad y resistencia mecánica, que llenan los requisitos para cualquier diseño de líneas aéreas.

2.3.4 Conductores de ALUMOWELD desnudo

a) La utilización del ALUMOWELD

El Alumoweld está especialmente indicado para la construcción de líneas aéreas de aluminio reforzado. Además de reunir las propiedades eléctricas y mecánicas deseadas, ofrece las ventajas económicas inherentes a su bajo precio de adquisición, reducidos gastos de conservación y larga duración, en las aplicaciones siguientes:

b) Las líneas aéreas de puesta a tierra

Las líneas modernas de transmisión a altas tensiones precisan disponer de conductores aéreos de puesta a tierra para evitar interrupciones motivadas por perturbaciones atmosféricas. La elevada resistencia mecánica y reducido peso de los cables Alumoweld permite que sean tendidos con flechas que hacen posible en el centro del claro obtener distancias máximas en los conductores de transmisión de energía, a fin de asegurar el aislamiento requerido. La gruesa capa de aluminio ofrece la máxima protección contra la corrosión atmosférica y a la vez, excelente conductividad para el debido funcionamiento de los relevadores de protección.

c) Alambres para núcleo de cables tipo ACRS /AW

El Alumoweld es de gran utilidad como elemento de refuerzo en los cables ACSR en atención a su alta resistencia mecánica, gran conductividad y compatibilidad con los alambres de aluminio, y su empleo permite coordinar la duración de los alambres reforzantes con la de los de conducción.

Cuando el Alumoweld sustituye a elementos de refuerzo sin modificar la formación del cable, se consigue el aumento de su capacidad eléctrica de conducción; y si se modifica el cable para conseguir que su conductividad sea la misma que anteriormente, entonces el empleo del Alumoweld permite obtener un cable de menor sección, lo que contribuye a reducir las cargas por hielo y viento, con el aumento consiguiente del coeficiente de seguridad. El alambre de Alumoweld se suministra a los fabricantes de los cables ACSR para su empleo directo como alambre de refuerzo de dichos cables.

d) Mensajeros neutros

El cable Alumoweld es ideal para emplearse como conductor neutro y como mensajero o soporte de cables aéreos para transmisión de energía eléctrica. Proporciona buena conductividad, flechas mínimas en los claros largos, y permite conseguir elevados coeficientes de seguridad en el caso de sobrecarga por tormenta. Asimismo, se fabrican cables formados por Alumoweld y aluminio para cumplir las necesidades requeridas, en casi la totalidad de los casos, en cuanto a resistencia mecánica y a conductividad eléctrica se refiere.

e) Alambres para líneas telefónicas aéreas

Las instalaciones telefónicas que utilizan líneas aéreas exigen, hoy en día, disponer de alambres de alta resistencia mecánica, gran resistencia a la corrosión y de buenas características de transmisión, especialmente para corrientes de alta frecuencia. El alambre Alumoweld para líneas aéreas reúne todas estas propiedades. Su alta resistencia mecánica y bajo peso, permiten su tendido con claros largos y flechas pequeñas, proporcionando además la debida seguridad, aún en el caso de sobrecargas por tormentas. La gruesa capa de aluminio cumple dos cometidos: protege contra la corrosión al alma de acero y proporciona buenas características de transmisión. De hecho, a frecuencias de onda portadora, las características de transmisión son iguales, o incluso mejores, que las correspondientes al alambre de aluminio.

f) El cable mensajero (SOPORTE)

La importancia del servicio que deben asegurar, tanto los cables telefónicos como los transportadores de energía eléctrica, justifican plenamente la utilización de un cable mensajero o de soporte, de las mejores características posibles. El cable mensajero de Alumoweld asegura una larga vida, y como no se oxida, conserva permanentemente su alta resistencia mecánica. Asimismo, con la utilización creciente de recubrimientos de aluminio y otros no metálicos, el Alumoweld permite disponer de un cable mensajero que puede competir, totalmente, contra cualquier otro en cuanto a conductividad y seguridad para el servicio.

g) El cable para retenida

Los cables de Alumoweld, por sus características anticorrosivas y de alta resistencia mecánica, tiene excelente aplicación como retenidas en las instalaciones de líneas aéreas para transporte de energía eléctrica, comunicaciones, señalización, etc. La elevada resistencia a la tracción de estos cables, de poco peso, está protegida permanentemente contra la corrosión por una gruesa capa de aluminio, eliminando así los gastos de conservación por oxidación de los cables para retenida de otros tipos. Además, por ser de fácil manejo, con los cables de Alumoweld para retenida se reducen los costos de instalación. Para anclajes se recomienda el empleo de grapas o mordazas terminales preformadas.

2.4 Los conductores aislados

Se considera como conductor para baja tensión a todo aquel que tenga un aislamiento que le permita operar en tensiones hasta de 1 000 volts en condiciones apropiadas de seguridad.

2.4.1 Los cables multi-conductores

Los cables multi-conductores, son los formados por dos o más conductores aislados individualmente, reunidos bajo una cubierta común o exterior, la cual generalmente es resistente a la humedad, al aceite, a intemperismos y a la propagación de la flama.

Estos cables multi-conductores pueden clasificarse como: Cables Control y Cables de Energía. Se utilizan en instalaciones aéreas, charolas, tubo (conduit) metálico o en ductos subterráneos, para el control remoto y alimentación de equipos industriales.

Los conductores aislados se identifican individualmente por medio de un código de colores, o bien, por medio de números secuenciales marcados en su superficie.

2.4.2 Cables para la distribución secundaria

Son cables de energía de un conductor, o pueden ser tríplex, o cuádruplex, es decir, formados por dos o tres conductores de cobre o de aluminio 1 350, con aislamiento individual de polietileno de cadena cruzada (XLPE) en color negro, reunidos entre sí con un conductor neutro aislado con polietileno de cadena cruzada (XLPE) en color blanco.

Estos cables de energía son para una tensión máxima de operación de 600 V y una temperatura máxima de operación en el conductor de 90oC.

Son para instalación aérea, en ducto, o directamente enterrados. Pueden operar en lugares húmedos, mojados o secos.

2.4.3 Los conductores aislados para media y alta tensión

Se considera como conductor para media y alta tensión, a todo aquél que tenga un aislamiento tal que le permita operar satisfactoriamente en condiciones de seguridad en tensiones superiores de 1 000 volts.

Los conductores para instalaciones en alta tensión se clasifican según su aplicación en:

- Conductores para Distribución Comercial e Industrial
- Conductores para Distribución Residencial
- Conductores para Sub-transmisión
- Conductores para Transmisión

A) Los conductores

Estos pueden ser de cobre suave o de aluminio 1 350 duro, sólidos o cableados en las siguientes construcciones:

El Concéntrico Normal

Cable compuesto por alambres de un mismo diámetro, colocados helicoidalmente en capas concéntricas sobre un alambre central.

El Concéntrico Compactado.-

Su construcción y número de alambres por capa es igual al cable concéntrico normal. Sin embargo, con el fin de reducir los diámetros y los intersticios entre los alambres, al formar el cable, éste se compacta haciéndolo pasar por una serie de dados y roles donde se reduce el diámetro exterior, sin afectar el área de la sección transversal del material conductor.

B) Pantalla de conductor

Por especificación, estos cables deben llevar pantalla sobre el conductor a partir de 2 000 V en adelante. Ésta puede darse a base de cinta semiconductora, material semiconductor extruido, o por una combinación de ambos. Su función es la de uniformizar el campo eléctrico.

c) Aislamiento

Los materiales más comunes para el aislamiento de los cables de alta tensión son los termofijos, principalmente el Polietileno de Cadena Cruzada (XLPE) y el terpolímero del Etileno Propileno (EPR). Ambos son para operar en lugares secos, húmedos, o mojados, a una temperatura máxima del conductor de 90°C, 130°C en condiciones de sobrecarga y 250°C en condiciones de cortocircuito.

d) Pantalla de aislamiento

Esta pantalla está constituida realmente por dos elementos: la semiconductora y la electrostática. La primera, puede darse por medio de cintas semiconductoras o por material semiconductor extruido aplicado directamente sobre el aislamiento. La segunda, electrostática o metálica, normalmente es a base de cintas o alambres de cobre y en ocasiones es una combinación de ambos. La función de la pantalla de aislamiento es la uniformizar el campo eléctrico y la de dar protección al personal que labore en las vecindades del cable.

e) Cubiertas Exteriores (Protectoras)

Éstas pueden ser de material termoplástico o termo fijo, en función del aislamiento de los cables. Las hay de PVC, Polietileno de alta densidad, Neopropeno, o de Hypalon. Su función es la de dar protección a los cables contra ligeros golpes, de la abrasión y del medio ambiente, grasas, aceites, gasolinas. La mayoría de estos materiales para cubierta, pueden tener propiedades de no propagación de la flama o del incendio.

f) Armaduras

Para los cables trifásicos o multi-conductores, existen varios tipos de armadura para protegerlos de daños mecánicos:

1.- Con flejes de acero galvanizado, a base de dos flejes aplicados en hélice abierta, uno cubriendo los espacios libres dejados por el otro y se emplea principalmente en cables para enterrarse directamente.

2.- Con armadura engargolada, para cables instalados en charola.

3.- Armadura con alambres de acero galvanizado aplicados en hélice a paso muy largo sobre la cubierta del cable, con 100% de cubrimiento. Éstos últimos, generalmente son para instalación vertical.

a) PRUEBAS EN CABLE TERMINADO

Se efectúan dos tipos de prueba en cables terminados: Pruebas de Rutina y Pruebas de Aceptación

b) PRUEBAS DE RUTINA

- Características Físicas.- Sobre una placa moldeada de material semiconductor, antes de extrudirse, la prueba de Alargamiento por tensión a la ruptura, después de envejecimiento a 121°C durante 168 h, debe ser como mínimo 100% y la temperatura de Fragilidad en Frío, debe ocurrir a no más de -10°C.

- Continuidad de las capas semiconductoras.- Las capas semiconductoras extruidas sobre el conductor y sobre el aislamiento deben mostrar continuidad en todo el perímetro de cobertura, cuando se sometan a la prueba de extracción por solventes durante 20 h.

- Propiedades Físicas del Aislamiento.- El aislamiento en su estado natural y después de envejecido, debe satisfacer un valor mínimo en MPa y en %, cuando se le someta a las pruebas de Esfuerzo y de Alargamiento por tensión a la ruptura, respectivamente.

- Resistividad volumétrica.- La resistividad volumétrica de la capa semiconductora extruida sobre el aislamiento, no debe exceder de 500 Ω.m medida a 90°C 1°C y a 100°C 1°C.

- Adherencia entre el aislamiento y el componente semiconductor extruido sobre el aislamiento.- Para los cables de 5 kV a 46 kV, la fuerza para retirar la capa debe estar entre 30 y 110 N (XLPE) y en el caso de los cables de 69 y 115 kV, el semiconductor debe estar firmemente adherido al aislamiento.

- Propiedades Eléctricas del aislamiento.- El XLPE y el EPR deben tener una constante dieléctrica no mayor de 3.5 y 4.0, respectivamente, cuando se prueben a la tensión nominal de fase a tierra, a 60 Hz y a temperatura ambiente. Estos valores deben ser los mismos, cuando se sometan a la prueba de absorción de humedad método eléctrico, después de 24 h en agua a 75°C y determinadas a 3 150 V/mm.

  El factor de ionización después de 14 días a 75°C, con tensiones de 3 150 V/mm y 1 575 V/mm a 60 Hz, no debe ser mayor de 1% tanto para el XLPE como para el EPR.

- Dobles en frío.- Esta prueba se efectúa sobre muestras de cable terminado. La cubierta exterior debe quedar de aspecto uniforme después de la prueba.

- Estabilidad Estructural.- Ésta se hace en muestras de cable terminado para tensiones de 69 kV y 115 kV, después de acondicionarlas dentro de un tubo de plástico, a temperatura ambiente, 6 h a 90°C, 6 h a 130°C y nuevamente a temperatura ambiente. Al final de cada etapa se miden las descargas parciales.

- Estabilidad Dimensional.- Prueba requerida sólo para cables aislados con XLPE de 69 y 115 kV, en la que la proyección axial del conductor fuera del aislamiento no debe exceder de 4.5 mm.

El resto de las pruebas de rutina son:

Cavidades y contaminantes en el aislamiento e irregularidades en las pantallas semiconductoras, Envejecimiento en aceite a las cubiertas, Choque térmico y Agrietamiento en ambiente controlado.

c) LOS ESPESORES DE AISLAMIENTO

En la selección del espesor de aislamiento de un cable para emplearse en una instalación particular, debe hacerse considerando la tensión entre fases y la categoría del sistema en que va a operar. Estas categorías son:

Categoría I (100% Nivel de aislamiento). Los cables de esta categoría deben emplearse en sistemas con neutro sólidamente aterrizado y que esté provisto con dispositivos de protección tales, que las fallas a tierra sean despejadas tan rápido como sea posible, pero en cualquier caso dentro de un minuto. También pueden utilizarse en otros sistemas para los cuales sean aceptables, siempre y cuando se cumpla con los requisitos antes mencionados.

Categoría II (133% Nivel de aislamiento). Los cables de esta categoría corresponden a los anteriormente designados como sistema con neutro aislado. Estos cables se utilizan cuando no puedan cumplirse con los requisitos de eliminación de la falla de la categoría I, (100% Nivel de aislamiento), pero en los que exista una seguridad razonable de que la sección que presente una falla a tierra, será des energizada en un tiempo no mayor de una hora. También pueden emplearse cuando se requiera de un esfuerzo dieléctrico mayor al de los cables con categoría I.

Categoría III (173% Nivel de aislamiento). Los cables de esta categoría deben emplearse en sistemas donde el tiempo requerido para despejar la sección que presente la falla a tierra sea indefinido. Para el espesor de aislamiento y tensiones de prueba, debe consultarse al fabricante.

2.5 Aislamientos y aislantes para protección de cables

Veamos las características de los aislantes para los conductores eléctricos

Debemos recordar que un material aislante es toda substancia de tan baja conductividad que el paso de la corriente eléctrica a través de ella es prácticamente despreciable.

En relación con la idea anterior, se tiene en cada aislamiento eléctrico una cierta cantidad de características o parámetros que permiten estudiar, evaluar y comparar estos materiales. Por ejemplo los valores mecánicos importantes son: la resistencia a la tensión mecánica y al alargamiento de un material antes y después de someterlos a una prueba de envejecimiento acelerado, así como también su dureza y flexibilidad. Entre las cualidades eléctricas están: la rigidez dieléctrica del material, su resistividad, su factor de potencia y su constante dieléctrica. Otros aspectos importantes serán su resistencia al calor, al ozono, a la humedad, a la intemperie, a la luz solar, a los aceites y productos químicos.

Antes de analizar datos comparativos de los aislamientos conviene aclarar el significado de los diferentes conceptos en cuestión.

2.5.1 La rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica o gradiente eléctrico de un aislamiento representa el número de volts requerido para perforarlo. En un aislamiento cuya sección no cambie a través de su espesor, está dada por la relación entre la tensión (volts) aplicada y el espesor del aislamiento (kV/mm).

En un aislamiento cuya sección transversal cambia a través de su espesor, como es el caso de un cable que tiene un radio mínimo en la vecindad del conductor y máximo en la superficie exterior, el gradiente dieléctrico es variable (siendo máximo en la superficie del conductor).

Según la forma como se mida el gradiente eléctrico se pueden obtener valores diferentes. En un cable por ejemplo, se puede medir de las siguientes formas:

- Con corriente alterna incrementando la tensión (volts) en forma escalonada, hasta la falla.

- Con corriente alterna incrementando rápidamente la tensión (volts), hasta la falla.

- Con impulsos eléctricos de muy alta tensión (volts), pero de muy poca duración (micro-segundos).

- Con corriente directa incrementando gradualmente la tensión (volts).

- Con corriente alterna a una mediana tensión (volts), pero a largo tiempo.

2.5.2 La constante dieléctrica

La constante dieléctrica o capacidad inductiva específica (SIC) de un aislamiento es la relación entre la capacitancia de un condensador cuyo dieléctrico sea el aislamiento en cuestión y la capacitancia del mismo condensador con aire como dieléctrico.

La constante dieléctrica de un aislamiento en un cable determina la corriente de carga capacitiva que se produce en el cable y que se traduce en pérdidas dieléctricas. Conviene que tenga un valor lo más bajo posible.

2.5.3 El factor de potencia

También conocido como factor de pérdidas de aislamiento, representa la relación entre la potencia activa disipada en el dieléctrico (Wa) y la potencia reactiva (Wr). Es mayor mientras más imperfecto sea el dieléctrico; es decir, mayor será la corriente de pérdidas (Ip) que se presenta cuando el desfasamiento entre la tensión (volts) aplicada y la corriente capacitiva (Ic) inducida, es menor de 90°

El factor de potencia en un aislamiento aumenta con la presencia de humedad y con la elevación de temperatura. La medición del factor de potencia es uno de los medios más efectivos para detectar humedad o deterioro de un aislamiento.

El factor de potencia, junto con la constante dieléctrica del aislamiento, determina las pérdidas dieléctricas de un cable. Por lo tanto conviene que el factor de potencia sea lo más bajo posible.

2.5.4 La resistencia de aislamiento

La resistencia del aislamiento mínima especificada de un cable es la resistencia media entre el conductor y un electrodo que se encuentra envolviendo la superficie exterior de aislamiento. En base a las dimensiones del cable se puede determinar lo que se llama la constante de resistencia de aislamiento (K) que es independiente de las dimensiones.

Las pruebas de resistencia de aislamiento son una forma sencilla para determinar el deterioro de un aislamiento y suelen efectuarse en la fábrica y en el campo, para determinar el estado de un cable.

2.6 Clasificación de los cables

Cables de media y alta tensión

Dimensiones nominales de cables tipo ds. Categoría I, (100% N de A)

2.7 Nomenclatura de los cables

Veamos la nomenclatura de los cables dependiendo de sus usos, ambientes y finalidad

2.7.1 Cable para uso en ambientes secos.

1.- El conductor puede ser de cobre suave o de aluminio 1 350 clase B, comprimido o compactado, con bloqueador de humedad.

2.- El conductor debe llevar una pantalla semiconductora extruida, con espesor promedio no menor de 0.38 mm.

3.- El aislamiento puede ser polietileno de cadena cruzada (XLP o XLP-RA). Estos son para operar satisfactoriamente en lugares húmedos o secos, a una temperatura máxima en el conductor de 90°C, 130°C en condiciones de emergencia y 250°C en condiciones de cortocircuito.

4.- La pantalla sobre el aislamiento debe ser una capa de material semiconductor extruido y de color negro.

5.- Debe llevar una pantalla metálica a base de alambres de cobre aplicados helicoidalmente y en contacto con la pantalla semiconductora del aislamiento.

6.- La cubierta exterior debe ser extraída y de un compuesto de policloruro de vinilo (PVC), de color rojo o de polietileno de color negro con tres franjas rojas.

2.7.2 Dimensiones nominales para cables de EPR 69 KV categoría I, (100% Nivel de aislamiento)

CABLE PARA USO EN AMBIENTES SECOS.

1.- El conductor puede ser de cobre o de aluminio 1 350 duro clase B, comprimido o compactado, con bloqueador de humedad.

2.- El conductor debe llevar una pantalla semiconductora extruida.

3.- El aislamiento, polímero de etileno propileno, es para operar satisfactoriamente en lugares húmedos o secos y a una temperatura máxima en el conductor de 90oC, a 130oC en condiciones de emergencia, y a 250oC en condiciones de cortocircuito.

4.- La pantalla sobre el aislamiento debe ser una capa de material semiconductor extruido y de color negro.

5.- Debe llevar una pantalla metálica a base de alambres de cobre de sección 2.61 mm (13 AWG) y cinta de cobre dispuesta en hélice abierta sobre los alambres. El número de alambre se calcula para cada instalación particular.

6.- La cubierta exterior debe ser extruida y de compuesto de policloruro de vinilo (PVC), en color rojo, o de PEAD en color rojo o negro con tres franjas rojas.

2.7.3 Dimensiones nominales para cables de XLPE 69 y 115 KV categoría I, (100% Nivel de aislamiento)

1.- El conductor puede ser de cobre o de aluminio 1 350 duro clase B, comprimido o compactado.

2.- El conductor debe llevar una pantalla semiconductora extruida.

3.- El aislamiento, polietileno de cadena cruzada, es para operar satisfactoriamente en lugares húmedos o secos y a una temperatura máxima en el conductor de 90°C, a 130°C en condiciones de emergencia, y a 250°C en condiciones de cortocircuito.

4.- La pantalla sobre el aislamiento debe ser una capa de material semiconductor extruido y de color negro.

5.- Debe llevar una pantalla metálica a base de alambres de cobre de sección 0.653 mm2 (19 AWG) y cinta de cobre dispuesta en hélice abierta sobre los alambres. El número de alambres se calcula para cada instalación particular.

6.- La cubierta exterior debe ser extruida y de compuesto de policloruro de vinilo (PVC), en color rojo.

2.7.4 Instalación bajo tierra de cables BS

Existen cuatro formas comunes para instalar cables bajo tierra:

I.- Directamente enterrados

II.- En ductos enterrados

III.- En trincheras

IV.- En túneles

I. Directamente Enterrados: se abre una zanja, se tienden en ella los cables y se rellena de nuevo con terreno nativo o con arena térmica. Los cables quedan completamente rodeados y en contacto con el terreno. Permite una gran capacidad de corriente en los mismos.

II. En ductos enterrados: se abre una zanja, se colocan y fijan los ductos, y se rellena de nuevo la zanja, ya sea con terreno nativo o con arena térmica. Los ductos pueden también ir embebidos en concreto, en cuyo caso se trata de una instalación en banco de ductos. Colocado todo el sistema de ductos y construidos los registros, se instalan los cables introduciéndolos en ellos. Proporciona una excelente protección a los cables.

III. En Trincheras: se abre una zanja, se recubre interiormente con una capa de concreto y se hace una preparación para colocar tapas a todo lo largo. Las tapas pueden ser de lámina o lozas de concreto que puedan retirarse fácilmente. Los cables se colocan en el fondo de la trinchera. En ésta se permite un rápido acceso a los cables, facilitando el mantenimiento a los mismos.

IV.- En túneles: en este tipo de instalación, los cables de energía eléctrica, así como la tubería de agua, gas, vapor, aire comprimido, etc., van alojados dentro del túnel. Los cables se acomodan en soportes o charolas colocadas en las paredes del mismo. Estos túneles son lo suficientemente amplios que permiten el paso al personal de inspección y de mantenimiento y la circulación del aire de enfriamiento. El costo de este tipo de instalación es elevado.

2.7.5 Tendido de cables

Cables directamente enterrados. Considerando que ya se tiene preparada una zanja de dimensiones adecuadas, se recomienda tender en el fondo de ella una cama de arena de río de unos 10 cm de espesor y sobre ésta colocar los cables. La distancia entre centros de cables debe ser de 20 cm aproximadamente. Los cables de energía no deben tenderse tensados, sino que debe permitírseles que serpenteen con objeto de que puedan absorber fácilmente movimientos, dilataciones y contracciones del terreno, o del mismo cable en su ciclo de carga: esfuerzos mecánicos causados por sobrecarga en condiciones de falla. Tendidos los cables, se cubren con otra capa de arena de 10 cm de espesor y el resto de la zanja se rellena con la misma tierra que se sacó al hacerla.

Los pasos de calles, vías, etc., normalmente se hacen con cables instalados en ducto, a fin de que una reparación en ellos pueda efectuarse sin alterar el tráfico.

Cables instalados en ductos. Considerando que los ductos se instalaron del tamaño adecuado, en configuración y con distancias entre registros conviertes, nivelados y drenados correctamente, lo primero por hacer es liberar los registros de materiales, madera, etc., para dejarlos limpios.

La colocación de los ductos en los registros es muy importante, así como los radios de curvatura a los que pueden someterse los cables para no dañar su aislamiento.

2.7.6 Registros

Éstos pueden clasificarse en: Registros de paso y Registros de cambio de dirección. Los registros de paso son aquellos en los cuales los cables se jalan y los ductos van colocados en el centro del registro en caras opuestas y a la misma altura.

Los registros de cambio de dirección, son aquellos en los cuales la dirección de los cables sufre un giro debido a las condiciones del recorrido de la instalación, o que son principio o fin de trayectoria. En estos registros, las tuberías o ductos se instalan cargados a una esquina para facilitar los radios de curvatura de los cables.

2.7.7 La tensión de jalado

La fuerza requerida para instalar un cable o grupo de cables dentro de un sistema subterráneo de ductos enterrados o en un banco de ductos, depende de: peso del cable; longitud del circuito; coeficiente de fricción entre el ducto y los cables; geometría de la trayectoria, (recta, curva, etc.) y del acomodo de los cables.

El valor máximo aceptable de la fuerza o tensión que se puede aplicar a un cable para su instalación, depende del elemento del cable en donde se aplique la fuerza: en el conductor, en la cubierta exterior, o en la armadura de alambres.

2.8 Canales y molduras

Los canales y molduras permiten el cuidado de conectores y cables que trasportan la electricidad necesaria en todo proceso o servicio, veamos más de ellos.

2.8.1 Clases de Conductos (Tubos) Protectores.

Esta denominación comprende las clases siguientes:

- Conductos metálicos roscados para instalaciones eléctricas
- Conductos metálicos flexibles, simples o reforzados
- Caños de fibrocemento o similares
- Conductos de Material Aislante (PVC, Polipropileno)
- Bandejas

Generalidades.

En las instalaciones aparentes en general, cuando las canalizaciones eléctricas estén adosadas a materiales combustibles (paredes, cielorrasos, etc.). Se emplearán siempre conductos metálicos, de la resistencia mecánica, al fuego y a la corrosión, adecuados a la aplicación y medio ambiente.

También, cuando se trate de instalaciones aparentes a la intemperie, se emplearán conductos metálicos con adecuada resistencia mecánica y a la corrosión (cuando se trate de conductos de hierro, serán galvanizados en caliente). Se podrán emplear conductos aislantes, en forma aparente, a la intemperie cuando estos no corran riesgo de accidentes mecánicos (en general por encima de 2,50 m) y estén protegidos adecuadamente del polvo, agua y radiación solar.

2.8.1.1.- Diámetro de los Conductos y número de Conductores en cada uno de ellos.

Como norma general, la sección total de los conductores, incluida la aislación no podrá ser superior al 40 % de la sección interior del conducto.

En general, cuando se enhebren conductores aislados en PVC o con vaina de PVC dentro de conductos aislantes de PVC, se recomienda lubricar, cuando sea necesario, con: lubricantes específicos a base de silicona, estearato o talco en polvo.

Queda terminantemente prohibido el empleo de aceites o grasas

2.8.2.- Colocación de Conductos Metálicos.

Ejecución.

Para la ejecución de la canalización, bajo conductos protectores, se tendrán en cuenta las prescripciones generales siguientes:

- El trazado de las canalizaciones eléctricas se hará siguiendo preferentemente líneas paralelas a las verticales y horizontales que limiten el local donde se efectúa la instalación.

- Los conductos se unirán entre sí mediante accesorios adecuados a su clase que aseguren la continuidad de la protección que proporcionan a los conductores. En particular, en el caso de los conductos metálicos, la unión se efectuará mediante el empleo de manguitos o coplas roscadas y de forma tal, que los extremos se toquen. A los efectos de la unión, la extensión de la rosca no podrá ser inferior a la mitad de la longitud de la copla.

- Las curvas de los conductos, practicadas a mano o a máquina, no deberán disminuir el diámetro de los mismos ni afectar su resistencia mecánica. Las rugosidades pronunciadas y las abolladuras no se admiten.

- El radio de las curvaturas de los conductos deberá responder a los valores establecidos.

- Se admite el empleo de curvas de fábrica sin restricciones, en cuanto al pasaje de conductores para conductos hasta de 25 mm (1").

- Para conductos de diámetros mayores se admitirá también el empleo de curvas de fábrica, condicionado a que se reduzca la sección útil del conductor establecido.

- Se admite el empleo de cajas para los cambios de dirección. Estas deberán tener dimensiones tales que los conductos de entrada y salida permitan enhebrar los conductores con un radio de curvatura igual al establecido para el curvado de conductos.

- No se admite en este tipo de canalización, la utilización de codos y T para efectuar cambios de dirección.

- A efectos de obtener un cómodo enhebrado, en la instalación de conductos deberán intercalarse cajas de registro cada 10 m como mínimo. La suma de los ángulos de las curvas situadas entre dos cajas consecutivas no será superior a 270º manteniéndose los radios de curvatura establecidos.

- Cuando deba sobrepasarse la longitud de 10 m y no sea posible cumplir la condición anterior, se aumentará la sección del conducto en un 25 % por cada 5 m o fracción.

- Se permitirán extensiones mayores cuando se trate de tramos sin ninguna curva y de conductos de amplio diámetro que aseguren con facilidad el pasaje y cambio de los conductores. Estas extensiones se limitarán a 30 m.

- Los registros podrán estar destinados únicamente a facilitar el cableado de los cables o servir, al mismo tiempo, como cajas de empalme y derivación.

- Queda prohibida la utilización de cajas que contengan elementos de un circuito (interruptores, tomacorrientes, fusibles, portalámparas, receptáculos, etc.), para registrar líneas que pertenezcan a otro circuito.

- Los conductos que se empleen en esta clase de instalación, deberán prepararse cuidadosamente quitándole las rebarbas o filos que puedan resultar de cortes y roscados.

- En el interior de las cajas, las tuercas deberán ser de bordes redondeados y colocados en forma tal que impidan el deterioro de la aislación de los conductores.

- Cuando los conductos que se instalen a la vista, estén constituidos por materiales susceptibles de oxidación y cuando hayan recibido durante el curso de su montaje algún trabajo de mecanización (roscado, curvado, etc.), se aplicará a las partes mecanizadas pinturas antioxidantes.

- Las curvas llamadas en "bolsa de agua" deberán evitarse mediante el empleo de cámaras. Si no fuera posible usar cámaras, se admitirá la "bolsa de agua" únicamente con caño o tubo de 25 mm (1") como mínimo y conductor super-plástico.

- La instalación de los conductos metálicos deberá ofrecer una perfecta continuidad eléctrica. Con esa finalidad la unión de los conductos con las cajas, cualquiera sea su dimensión o ubicación, deberá efectuarse mediante el empleo de tuercas y contratuercas con roscas ajustadas a las características establecidas.

- Por cada 50 m lineales, o fracción, de conducto de cualquier diámetro, deberá efectuarse una descarga a tierra mediante un conductor de sección adecuada a la corriente de defecto y duración de la misma, no pudiendo ser está inferior a 2 mm2.

Se verificará que las protecciones actúen respetando las tensiones de contacto admisibles.

- No podrán utilizarse los conductos metálicos como conductor de protección, ni como conductor neutro.

- Cuando los conductos se coloquen en montaje superficial se tendrán en cuenta además, las siguientes prescripciones:

- Estos conductos metálicos serán obligatorios cuando se usen adosados a materiales combustibles.

- Los conductos se fijarán a las paredes o techos por medio de bridas o abrazaderas protegidas contra la corrosión y sólidamente sujetas.

La distancia entre éstas será, como máximo del orden de 1,00 m, para conductos rígidos y de 0,50 m, para conductos flexibles. Se dispondrán fijaciones en una y otra parte de los cambios de dirección y de los empalmes y en la proximidad inmediata de las entradas en cajas y aparatos.

También pueden llevarse suspendidos mediante el empleo de grapas adecuadas.

La sujeción de conductos y cajas, en estructuras y máquinas en general, se realizará mediante el empleo de grapas atornilladas o abullonadas.

- Los conductos se colocarán adaptándolos a la superficie sobre la que se instalan, curvándolos o usando los accesorios necesarios.

- En toda derivación de línea o ramal y cambio de sección del conducto, deberán colocarse obligatoriamente cajas de material y diseño aprobados.

- En los casos en que el empleo de este tipo de conducto sea obligatorio, todos los implementos eléctricos que se coloquen, deberán resultar ubicados dentro de cajas de material y diseño aprobados, con tapas del mismo material.

- Las cajas de centros destinados a alumbrado, deberán estar provistas de ganchos adecuados o en su defecto de tapas con coplas, para el enroscado de los caños o tubos.

- En los cruces de conductos rígidos con juntas de dilatación de un edificio, deberán interrumpirse los conductos, quedando los extremos del mismo separados entre sí 50 mm aproximadamente, y empalmándose posteriormente mediante manguitos deslizantes que tengan una longitud mínima de 0,20 m.

Cuando los conductos se coloquen embutidos, se tendrán en cuenta, además las siguientes prescripciones:

- Esta clase de instalaciones puede efectuarse en cualquier ambiente.

- En las planchadas, vigas, muros, etc. los conductos deberán colocarse de forma de obtener una ligera inclinación hacia las cajas, con el objeto de evitar los depósitos de las aguas de condensación.

Los conductos deberán sujetarse con ataduras a las armaduras o al encofrado, con el objeto de evitar los movimientos en el momento de hormigonear.

- Los trozos de conducto que sobresalen de las planchadas para "bajadas" o "subidas" deberán tener una longitud tal que permita y facilite la continuación de la canalización por muros y paredes, y además deberán terminar con rosca, a efectos de colocar la copla de unión correspondiente.

- Las cajas que se dispongan en planchadas deberán sujetarse mediante clavos y ataduras de alambre. Previamente a la sujeción deberán rellenarse con papel mojado u otros elementos, a fin de evitar la penetración de hormigón líquido en los conductos.

Las tapas de los registros y de las cajas de conexión quedarán accesibles y desmontables una vez finalizada la obra. Los registros y cajas quedarán enrasados con la superficie exterior del revestimiento de la pared o techo, cuando no se instalen en el interior de un alojamiento cerrado y practicable.

2.8.2.1.- Cajas.

En las cajas se exigirá la fijación de todos los implementos mediante tornillos.

Todas las cajas deben estar equipadas con tapas sujetas firmemente.

Las cajas destinadas a brazos, tomacorrientes o interruptores, no podrán utilizarse para pase o registro, salvo que estén vacías y destinadas a ese único fin.

Se podrán emplear cajas múltiples para interruptores y tomacorrientes, las que a la vez podrán utilizarse para la colocación de botones de timbres e inter-conectores telefónicos, siempre que resulten alojados entre diafragmas metálicos y que guarden las separaciones adecuadas.

Las cajas que se instalen a la intemperie deberán ser de cierre hermético, provistas de tornillos de bronce u otro material anticorrosivo y con una protección de metal anticorrosivo o mampostería en la parte superior, que impida la penetración de las aguas fluviales.

Las cajas que se instalen en puntos afectados accidentalmente por vapores corrosivos, deberán tener sus tapas provistas de una junta de plomo o material similar, colocada en la parte interior, sujeta con tornillos de bronce o de otro material anticorrosivo.

2.8.3.- Colocación de Conductos Metálicos Flexibles, Simples o Reforzados.

Conductos (Tubos) flexibles simples

Esta denominación comprende los conductos metálicos de fleje arrollado en forma helicoidal, sin forro.

Se admite su empleo en cualquier ambiente, salvo aquellos considerados como peligrosos o húmedos.

Conductos (Tubos) flexibles reforzados

Esta denominación comprende los conductos metálicos de varios flejes arrollados en forma helicoidal, a solape, a presión e impermeables, de tipo pesado. Se admite su empleo en cualquier ambiente sin restricciones, y para el caso de que se trate de flejes de hierro plomado o vaina sintética exterior, se admitirá también en los ambientes afectados por emanaciones químicas.

Rigen para esta clase de instalaciones las disposiciones establecidas, para el empleo de conductos metálicos, con los agregados y reservas.

Si los diámetros de esta clase de conductos difieren de las medidas estándar de los conductos metálicos, a los efectos del enhebrado de los conductores, deberán utilizarse los valores inmediatamente superiores que correspondieran.

La unión de los conductos deberá efectuarse por medio de coplas de características apropiadas. La intercalación de cajas deberá efectuarse también mediante el empleo de piezas apropiadas, de forma que aseguren la continuidad de la cañería.

En el interior de las cajas y en la terminación de los conductos flexibles, deberán emplearse tuercas y bujes adecuados, para evitar el deterioro de la aislación de conductores.

2.8.4.- Caños o tubos de Fibrocemento o similares.

Rigen para esta clase de instalaciones las disposiciones establecidas para los conductos metálicos, salvo aquéllas que sean específicas a los mismos, con los agregados y reservas que se indican en los artículos siguientes:

No se permitirá el empleo de este tipo de conducto donde se exija la protección total o parcial de los conductores contra accidentes mecánicos.

Las instalaciones podrán efectuarse totalmente con esta clase de conductos, y cajas del mismo material, o combinándolos con conductos y cajas metálicas.

En ambos casos, su empleo se permitirá cualquiera sea el ambiente en que resulten colocados, con la sola condición de que no queden expuestos a acciones mecánicas.

La unión de caños entre sí deberá efectuarse encabezándolos con arena y portland, alquitrán, plomo, etc., pero cuidando siempre que el interior de los mismos resulte libre de asperezas que pudieran dañar la aislación de los conductores.

La fijación de los caños sobre muros o estructuras, o retirados de los mismos, deberá efectuarse mediante el empleo de grapas o soportes apropiados, a las distancias:

vertical 0,80 m; horizontal 0,50 m, debiendo hacer coincidir una grapa o soporte a cada lado de uniones e intercalación de cajas.

Las cajas para protección de tableros o fusibles, de pase o cambio de dirección, etc., deberán fijarse en forma que su peso propio y el de los implementos que protegen, no incida sobre los caños.

Los cambios de dirección podrán resolverse mediante cajas de diseño aprobado.

Los extremos de los caños o tubos de fibrocemento, aún cuando resulten dentro de cajas, deberán tener sus bordes redondeados, de forma que los conductores no resulten afectados al efectuarse el enhebrado.

2.8.5.- Conductos (Tubos) de Material Aislante.

Estos conductos deberán cumplir con la norma.

Rigen para esta clase de instalaciones las disposiciones establecidas, para los conductos metálicos, salvo aquéllas que sean específicas a los mismos, con los agregados y reservas que se indican:

En las instalaciones aparentes, este tipo de conducto, sólo se admitirá cuando tenga propiedades ignífugas.

No se admite su empleo, en ningún caso cuando resulten adosados o soportados por elementos combustibles.

2.8.5.1.- Instalación embutida.

En paredes o losas de hormigón en los que se instalen los conductos, previamente al llenado del hormigón.

En paredes o techos de mampostería o hormigón, en los que para la colocación se deba hacer una canaladura, especialmente para tal fin, previa a la instalación de los conductos, los que serán posteriormente recubiertos con mortero.

2.8.5.2.- Instalación aparente.

En general, las instalaciones aparentes, deberán estar adecuadamente soportadas.

En locales cerrados.

En todos los casos deberán ser aptos para la aplicación que corresponda, teniendo en cuenta además las condiciones del medio ambiente y otras consideraciones técnicas, que le sean aplicables, según el lugar donde vayan a ser instalados.

i. En instalaciones domiciliarias, cuando los conductos se encuentren instalados, por debajo de 2 m de altura sobre el nivel del piso, se usarán conductos, de característica mecánica.

ii. Cuando los conductos se encuentren instalados en alturas superiores a los 2 m se admitirán conductos, de característica mecánica.

iii. En instalaciones industriales o comerciales, se consideran dos tipos de áreas diferenciadas: A) oficinas; B) depósitos.

A) En las oficinas se admitirán, en cuanto a las características mecánicas, condiciones similares a las domiciliarias.

B) En los depósitos y locales industriales los conductos que se admitirán sobre paredes serán de característica mecánica.

En este caso los ejemplos, de códigos, son similares a los anteriores, se admitirá el uso de fibrocemento en casos especiales con adecuada protección mecánica.

2.8.6.- Bandejas.

Las bandejas no deberán presentar rugosidades ni aristas cortantes que puedan dañar los conductores, y, en caso de ser metálicas, deberán tener un adecuado tratamiento anti óxido.

En los cambios de dirección o de nivel de la canalización, deberán emplearse piezas que permitan el tendido de los conductores, respetando los radios mínimos de curvatura de los cables.

En los tramos verticales se deberán emplear soportes para el cable de modo que éste no quede sometido a esfuerzos mecánicos.

A efectos de poder trabajar con comodidad en el tendido de conductores, así como en su posterior mantenimiento, cuando se dispongan bandejas superpuestas, la distancia entre el borde superior de la pared lateral de la bandeja y el fondo de la inmediata superior, no será menor de 0,20 m y el ancho máximo será de 0,50 m, cuando se acceda de un solo lado, y de 1 m, cuando se acceda por ambos lados.

RAMO: RIESGOS ELÉCTRICOS

UNIDAD III

RIESGOS ELECTRICOS

1.- DAÑOS DE ORIGEN ELÉCTRICO

1.1 Accidente del trabajo con Electricidad

El estudio de los peligros, la electrofisiología y la prevención de accidentes eléctricos exige la comprensión de varios conceptos técnicos y médicos.

Un choque eléctrico es el efecto fisiopatológico resultante del paso directo o indirecto de una corriente eléctrica externa a través del cuerpo. Comprende contactos directos e indirectos y corrientes unipolares y bipolares.

De los individuos (vivos o fallecidos) que han experimentado descargas eléctricas se dice que han sufrido electrización; el término electrocución debe reservarse para casos seguidos de muerte. Los alcances de rayos son sacudidas eléctricas mortales a consecuencia de los rayos (Gourbiere y cols. 1994).

La Oficina Internacional del Trabajo (OIT), la Unión Europea (UE), la Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique (UNIPEDE), la Asociación Internacional de la Seguridad Social (AISS) y el Comité TC64 de la Comisión Electrotécnica Internacional han recopilado estadísticas internacionales sobre accidentes eléctricos. La interpretación de estas estadísticas se ve obstaculizada por las variaciones de unos países a otros en materia de técnicas de recogida de datos, de pólizas de seguro y de definiciones de accidentes mortales.

El número de electrocuciones desciende poco a poco, en términos absolutos y, lo que resulta más llamativo, en función del consumo total de electricidad., Aproximadamente la mitad de los accidentes eléctricos tiene un origen profesional, mientras que la otra mitad ocurre en casa y en actividades de ocio. En Francia, la media de fallecimientos entre 1968 y 1991 fue de 151 por año, según cifras del Institut national de la santé et de la recherche Médicale.

1.2 Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

Los especialistas en electricidad dividen los contactos eléctricos en dos grupos:

- Directos, que implican el contacto con componentes activos
- Indirectos, en los que los contactos tienen derivación a tierra.

Cada uno de estos grupos exige medidas preventivas totalmente diferentes.

Desde el punto de vista médico, el camino que recorre la corriente a través del cuerpo es el determinante clave del pronóstico y la terapéutica. Por ejemplo, el contacto bipolar de la boca de un niño con la clavija de un cordón de extensión origina quemaduras muy graves en la boca, pero no la muerte si el niño está bien aislado del suelo.

En espacios de trabajo, donde es corriente que existan altas tensiones, también es posible que salte un arco eléctrico entre un componente activo que se encuentre a alta tensión y los trabajadores que se acercan demasiado al componente. Las situaciones específicas del trabajo influyen también en las consecuencias de los accidentes eléctricos: por ejemplo, los trabajadores pueden caerse o no actuar como es debido al ser sorprendidos por una sacudida eléctrica, por lo demás relativamente inofensiva.

Todas las tensiones presentes en los lugares de trabajo son susceptibles de provocar accidentes. Cada sector industrial tiene su propio conjunto de condiciones capaz de originar contacto directo, indirecto, unipolar, bipolar, por arco o inducido y, en último término, accidentes. Desde luego, no es posible abarcar en esta unidad todas las actividades humanas relacionadas con la electricidad, pero conviene recordar al lector los principales tipos de trabajo eléctrico que han recogido las directrices preventivas internacionales que se describen en el capítulo sobre prevención:

1. actividades que implican trabajar con cables activos (la aplicación de procedimientos extremadamente rigurosos ha conseguido reducir el número de electrizaciones durante este tipo de trabajo);

2. actividades que implican trabajar con cables desactivados,

3. actividades realizadas en la proximidad de cables activos (estas actividades exigen la máxima atención, puesto que a menudo son ejecutadas por personas que no son electricistas).

1.2.1 Fisiopatología

En la ley de Joule para corriente continua:

$W = V \times I \times t = RI\ 2\ t$ (el calor producido por una corriente eléctrica es proporcional a la resistencia y al cuadrado de la corriente) todas las variables guardan una estrecha relación entre sí. Si se trata de corriente alterna también es preciso tener en cuenta el efecto de la frecuencia (Folliot 1982).

Los organismos vivos son conductores eléctricos. La electrización tiene lugar cuando hay una diferencia de potencial entre dos puntos del organismo. Es importante subrayar que el peligro de accidentes eléctricos no surge del mero contacto con un conductor activo, sino del contacto simultáneo con un conductor activo y otro cuerpo a potencial diferente.

Los tejidos y órganos que recorre la corriente pueden experimentar una excitación funcional motora que en algunos casos es irreversible, o bien sufrir lesión temporal o permanente, en general a consecuencia de quemaduras. El grado de estas lesiones está en función de la energía liberada o de la cantidad de electricidad que atraviesa los tejidos. Así pues, el tiempo de paso de la corriente eléctrica es crítico para determinar la gravedad de la lesión. (Por ejemplo, las anguilas eléctricas y resistencia del sujeto de unos 600 ohms, estos peces son incapaces de inducir una sacudida mortal, porque la duración de la descarga es demasiado corta, de algunas decenas de microsegundos.)

Así pues, a altas tensiones (>1.000 V), la muerte se debe casi siempre a la extensión de las quemaduras. A tensiones más bajas, la muerte está en función de la cantidad de electricidad que llega al corazón, determinada por el tipo, el emplazamiento y el área de los puntos de contacto.

En las secciones siguientes se estudian el mecanismo de la muerte ocasionada por accidentes eléctricos, los tratamientos inmediatos más eficaces y los factores que determinan la gravedad de la lesión, que son la resistencia, intensidad, tensión, frecuencia y forma de onda.

1.2.2 Accidentes eléctricos en la industria

En casos raros, la causa de la muerte es la asfixia, debida al tétanos prolongado del diafragma, a la inhibición de los centros respiratorios en casos de contacto con la cabeza o a densidades de corriente muy altas, por ejemplo, a consecuencia de alcances de rayo (Gourbiere y cols. 1994). Si se presta ayuda en los tres minutos siguientes, se puede reanimar a la víctima con unas bocanadas de respiración artificial boca a boca.

Por el contrario, la principal causa de muerte sigue siendo el colapso de la circulación periférica que sigue a la fibrilación ventricular. Aparece siempre que no se aplica masaje cardíaco al mismo tiempo que la respiración boca a boca. Todos los electricistas deberían saber cómo hacerlo, y continuar haciéndolo hasta la llegada de la asistencia médica urgente, que casi siempre tarda más de tres minutos. Muchísimos electropatólogos e ingenieros de todo el mundo han estudiado las causas de la fibrilación ventricular, con objeto de idear mejores medidas protectoras, activas o pasivas (Comisión Electrotécnica Internacional 1987; 1994). La desincronización aleatoria del miocardio exige la persistencia de una corriente eléctrica de frecuencia, intensidad y tiempo de tránsito específicos. Y lo más importante es que la señal eléctrica llegue al miocardio durante la denominada fase vulnerable del ciclo cardíaco, correspondiente al comienzo de la onda T del electrocardiograma.

La Comisión Electrotécnica Internacional (1987; 1994) ha publicado curvas que describen el efecto de la intensidad de corriente y del tiempo de tránsito sobre la probabilidad (expresada en tanto por ciento) de fibrilación y el camino mano-pie de la corriente en un varón de 70 kg y buena salud. Son adecuadas para corrientes industriales

en el margen de frecuencias de 15 a 100 Hz, mientras que las frecuencias más altas se encuentran ahora en estudio. Cuando los tiempos de tránsito son inferiores a 10 ms, el área situada debajo de la curva de la señal eléctrica es una aproximación razonable de la energía eléctrica.

1.2.3 Los diversos parámetros eléctricos

Cada uno de los parámetros eléctricos (corriente, tensión, resistencia, tiempo, frecuencia) y la forma de onda son determinantes importantes de las posibles lesiones, por sí mismos y en virtud de su interacción.

Para la corriente alterna, así como para otras condiciones antes definidas, se han establecido umbrales de corriente. La intensidad de corriente durante la electrización se desconoce, puesto que está en función de la resistencia del tejido en el momento del contacto (I = V/R), pero por lo general es perceptible a niveles que rondan 1 mA. A corrientes relativamente bajas la persona puede sufrir contracciones musculares que le impidan apartarse de un objeto activado. El umbral de esta corriente está en función de la capacidad, del área de contacto, de la presión de contacto y de variaciones individuales. En la práctica, todos los hombres y casi todas las mujeres y niños pueden apartarse de corrientes de hasta de 6 mA. Con 10 mA, se ha observado que el 98,5 % de los hombres, el 60 % de mujeres y el 7,5 % de los niños se aparta. Con 20 mA sólo el
7,5 % de los hombres y ninguna mujer o niño se sueltan. Y la cifra se reduce a cero en todos los casos con 30 mA o más. Corrientes de unos 25 mA pueden provocar la tetanización del diafragma, el músculo respiratorio más potente. Si el contacto se mantiene durante tres minutos, sobreviene también la parada cardíaca.

Hay peligro de fibrilación ventricular a niveles situados en torno a 45 mA, con una probabilidad en adultos del 5 % tras un contacto de 5 segundos. Durante la cirugía cardíaca, reconocida como una situación especial, una corriente de 20 a 100 × 10–6 A aplicada directamente al miocardio, es suficiente para inducir fibrilación. A esta sensibilidad miocardial se debe la rigidez de las normas aplicadas a los aparatos de electromedicina. Si todo lo demás es constante (V, R, frecuencia), los umbrales de corriente dependen también de la forma de onda, de la especie animal, del peso de la dirección de la corriente en el corazón, de la relación entre el tiempo de tránsito de la corriente y el ciclo cardíaco, del punto del ciclo cardíaco en el cual llega la corriente, y de factores individuales.

En general se conoce la tensión que interviene en los accidentes.

En casos de contacto directo, la fibrilación ventricular y la gravedad de las quemaduras son directamente proporcionales a la tensión.

Las quemaduras debidas a una sacudida eléctrica de alta tensión van asociadas a muchas complicaciones, que sólo son predecibles en algunos casos. Por consiguiente, las

víctimas de estos accidentes han de ser atendidas por especialistas bien informados. La liberación de calor tiene lugar sobre todo en los músculos y en los haces neurovasculares.

La pérdida de plasma que sigue al daño en el tejido origina shock, en algunos casos rápido e intenso. Para un área superficial dada, las quemaduras electrotérmicas (quemaduras provocadas por una corriente eléctrica) son siempre más graves que otros tipos de quemaduras. Las electrotérmicas son al mismo tiempo externas e internas y, aunque en un principio no parezca ser evidente, pueden inducir lesión vascular con efectos secundarios graves. Entre éstos se cuentan estenosis internas y trombos que, con frecuencia, por la necrosis que producen, exigen la amputación.

La destrucción de tejidos también es responsable de la liberación de cromoproteínas, como la mioglobina. La misma liberación se observa en víctimas de traumatismos por aplastamiento, aunque el grado de liberación es notable en víctimas de quemaduras de alta tensión. Se cree que la precipitación de mioglobina en los túbulos renales, resultante de la acidosis causada por anoxia e hipercaliemia, es la causa de la anuria. Confirmada experimentalmente pero no aceptada por todos, a esta teoría se debe que se recomiende un tratamiento inmediato de alcalinización.

La alcalinización intravenosa, que corrige también la hipovolemia y las acidosis resultantes de muerte celular, es la conducta recomendada.

En el caso de contactos indirectos, también se han de tener en cuenta la tensión de contacto (V) y el límite de tensión convencional.

La tensión de contacto es la tensión a la cual una persona queda sometida cuando toca al mismo tiempo dos conductores entre los cuales existe una tensión diferencial debida a un aislamiento defectuoso. La intensidad de la corriente de paso resultante depende de las resistencias del cuerpo humano y del circuito exterior. No se debe permitir que esta corriente llegue a ser superior a los niveles de seguridad o, lo que es lo mismo, deberá permanecer dentro de las curvas de seguridad tiempo-corriente. La tensión de contacto máxima tolerable por tiempo indefinido sin que induzca efectos electropatológicos se denomina límite de tensión convencional o, con una expresión más intuitiva, tensión de seguridad.

Se desconoce el valor real de la resistencia durante los accidentes eléctricos. La variación de las resistencias en serie —por ejemplo, ropa y calzado— explica gran parte de la variación observada en los efectos de accidentes eléctricos de una clara similitud, pero ejerce poca influencia sobre el resultado de accidentes que impliquen contactos bipolares y electrizaciones de alta tensión. En casos que impliquen corriente alterna, al cálculo estándar basado en tensión y corriente (R = V/I) es preciso añadir el efecto de fenómenos capacitivos e inductivos.

La resistencia del cuerpo humano es la suma de la resistencia de la piel (R) en los dos puntos de contacto y de la resistencia interna del cuerpo (R). La resistencia de la piel varía con factores ambientales y, como mencionó Biegelmeir (Comisión Electrotécnica

Internacional 1987; 1994), en parte depende de la tensión de contacto. Otros factores como la presión, el área de contacto, el estado de la piel en el punto de contacto, y factores individuales influyen también en la resistencia. Así pues, es poco realista el tratar de basar medidas preventivas en estimaciones de la resistencia de la piel. Por el contrario, la prevención debe basarse en la adaptación de equipo y procedimientos a las personas, no a la inversa. Con objeto de simplificar las cosas, la CEI ha definido cuatro tipos de ambiente: seco, húmedo, mojado e inmersión, y ha definido parámetros útiles para la planificación de las actividades de prevención en cada caso.

La frecuencia de la señal eléctrica responsable de los accidentes eléctricos es conocida de todos. En Europa, es casi siempre de 50 Hz, y en las Américas es por lo general de 60 Hz.

En casos raros relacionados con los ferrocarriles en países como Alemania, Austria y Suiza, es de 162/3 Hz, frecuencia que en teoría representa un riesgo mayor de tetanización y de fibrilación ventricular. Debe recordarse que la fibrilación no es una reacción muscular, sino que es provocada por estimulación repetitiva, con una sensibilidad máxima a la frecuencia aproximada de 10 Hz. Por esto es por lo que, para una tensión dada, la corriente alterna de frecuencia extremadamente baja, se considera que es de tres a cinco veces más peligrosa que la corriente continua en relación con los efectos que no sean quemaduras.

Los umbrales antes descritos son directamente proporcionales a la frecuencia de la corriente. Así pues, a 10 kHz el umbral de detección es diez veces superior. La CEI estudia ahora curvas revisadas del peligro de fibrilación para frecuencias superiores a 1.000 Hz (Comisión Electrotécnica Internacional 1994).

Por encima de una determinada frecuencia, las leyes físicas que rigen la penetración de corriente en el cuerpo cambian por completo. A medida que comienzan a predominar fenómenos capacitivos e inductivos, los efectos térmicos derivados de la cantidad de energía liberada se convierten en el efecto principal.

La forma de onda de la señal eléctrica responsable de un accidente eléctrico suele ser conocida. Puede ser un determinante importante de lesión en accidentes sobrevenidos por el contacto con condensadores o semiconductores.

Es clásica la división de las electrizaciones entre incidentes de baja tensión (de 50 a 1.000 V) y de alta tensión (>1.000 V).

La baja tensión es un peligro cotidiano, desde luego omnipresente, y las descargas originadas por ella se encuentran en entornos domésticos, de ocio, agrícolas y hospitalarios, así como en los industriales.

Para pasar revista ordenadamente las descargas eléctricas de baja tensión, desde la más trivial a la más grave, debemos comenzar con las que no presentan complicaciones. Sus víctimas pueden apartarse por sí mismas del daño, conservan la

conciencia y mantienen la ventilación normal. Los efectos sobre el corazón se limitan a una simple taquicardia sinusal con o sin anormalidades cardiográficas leves. A pesar de las consecuencias relativamente leves de estos accidentes, la electrocardiografía sigue siendo una precaución médica y médico-legal adecuada.

Se aconseja la investigación técnica de estos incidentes, que pueden llegar a ser graves, como complemento del reconocimiento clínico (Gilet y Choquet 1990).

Las víctimas de descargas algo más fuertes y duraderas debidas a contactos eléctricos experimentan perturbaciones o pérdida de conciencia, pero se recuperan por completo con más o menos rapidez, y el tratamiento acelera la recuperación.

Un reconocimiento revela por lo general hipertonías neuromusculares, problemas de hiperventilación reflectiva y congestión, ésta última como efecto secundario frecuente de obstrucción orofaríngea. Los trastornos cardiovasculares son el resultado de hipoxia o anoxia, o bien pueden adoptar la forma de taquicardia, hipertensión y, en algunos casos, incluso aborto. Los pacientes en estas condiciones necesitan atención hospitalaria.

Las víctimas ocasionales que pierden la conciencia, al cabo de unos cuantos segundos de contacto aparecen pálidos o cianíticos, dejan de respirar, tienen un pulso apenas perceptible y presentan midriasis, indicativa de lesión cerebral aguda. Aunque por lo general se debe a la fibrilación ventricular, la patogénesis precisa de esta muerte aparente carece de importancia.

Lo importante es iniciar con rapidez un tratamiento bien definido, puesto que se sabe desde hace algún tiempo que este estado clínico nunca conduce a muerte real. El pronóstico en estos casos de descarga eléctrica (en los cuales es posible la recuperación total) depende de la rapidez y calidad de los primeros auxilios. La estadística demuestra que lo más probable es que éstos sean administrados por personal no médico y, por lo tanto, se recomienda proporcionar formación a todos los electricistas para que puedan realizar las acciones básicas que garanticen la supervivencia.

En casos de muerte aparente tiene que darse prioridad al tratamiento. Pero en otros casos hay que conceder atención a los traumas múltiples resultantes de tétanos violentos, de caídas o de la proyección de la víctima por el aire. Una vez resuelto el peligro inmediato de que la víctima pierda la vida, se debe atender al trauma y las quemaduras, incluidas las provocadas por contactos de baja tensión.

Los accidentes derivados de altas tensiones dan lugar a quemaduras importantes, aparte de los efectos descritos en los accidentes de baja tensión. La conversión de energía eléctrica en calor ocurre en los espacios internos y externos. En un estudio de accidentes eléctricos realizado en Francia por el departamento médico de la empresa suministradora de energía EDF-GDF, casi el 80 % de las víctimas sufrieron quemaduras, que se clasifican en cuatro grupos:

1. quemaduras de arco, que suelen afectar a la piel expuesta y que en algunos casos se complican con quemaduras debidas a ropa ardiendo.

2. quemaduras electrotérmicas múltiples, extensas y profundas, originadas por contactos de alta tensión.

3. quemaduras clásicas, provocadas por ropa ardiendo y por la proyección de material en llamas.

4. quemaduras mixtas, provocadas por arcos, incendio y paso de corriente.

Se realizará un seguimiento y los reconocimientos complementarios que exijan las particularidades del accidente. La estrategia utilizada para establecer un pronóstico o con fines médico-legales está determinada, como es natural, por la naturaleza de las complicaciones observadas o esperadas. En electrizaciones de alta tensión (Folliot 1982) y en descargas atmosféricas (Gourbiere y cols. 1994), la enzimología y el análisis de cromoproteínas y de los parámetros de coagulación de la sangre son obligatorios.

Es fácil que el curso de la recuperación del trauma eléctrico se vea comprometido antes o después por complicaciones, en especial las que afectan a los sistemas cardiovascular, nervioso y renal. La envergadura de tales complicaciones es suficiente para hospitalizar a las víctimas de electrizaciones de alta tensión; algunas de ellas pueden dejar secuelas funcionales o que afecten al aspecto externo.

Si el camino de la corriente es tal que el corazón es atravesado por una corriente significativa, aparecerán complicaciones cardiovasculares. De éstas, las observadas con más frecuencia y las más benignas son los trastornos funcionales, con presencia o ausencia de correlatos clínicos. Las arritmias —taquicardia sinusal, extrasistolia, fluter y fibrilación atrial (en este orden) — son las anormalidades electrocardiográficas más corrientes, cuyas secuelas pueden ser permanentes. Los trastornos de conducción son más raros, y además son difíciles de relacionar con accidentes eléctricos en ausencia de un electrocardiograma previo.

También se ha informado de trastornos más graves, como fallo cardíaco, lesión de válvulas y quemaduras miocardiales, pero son raros, aun en víctimas de accidentes de alta tensión.

También se ha informado de casos claros de angina e incluso de infarto.

En la semana siguiente a la electrización de alta tensión aparece la lesión periférica vascular. Se han propuesto varios mecanismos patógenos: espasmo arterial, acción de la corriente eléctrica en las capas medias y musculares de los vasos y modificación de los parámetros de coagulación de la sangre.

Hay una amplia variedad de complicaciones neurológicas posibles. La más temprana en aparecer es el accidente cerebrovascular, con independencia de que la víctima experimente al principio pérdida de conciencia. La fisiopatología de estas complicaciones comprende trauma craneal (cuya presencia debe comprobarse), el efecto directo de la corriente sobre la cabeza o la modificación de la circulación sanguínea cerebral y la inducción de un edema cerebral retardado. Además, el trauma o la acción directa de la corriente eléctrica pueden provocar complicaciones medulares y periféricas secundarias.

Los trastornos sensoriales afectan el ojo y a los sistemas audiovestibular o coclear. Es importante examinar lo antes posible la córnea, el cristalino y el fondo del ojo, y seguir la evolución de las víctimas de arcos y de contacto directo en la cabeza por si hubiera efectos retardados. Pueden desarrollarse cataratas después de un período de varios meses sin síntomas. Los trastornos vestibulares y la pérdida de audición se deben sobre todo a efectos de estallido y, en víctimas de descargas atmosféricas transmitidas por líneas telefónicas, a trauma eléctrico (Gourbiere y cols. 1994).

Las mejoras en las prácticas de urgencia móvil han hecho disminuir en gran medida la frecuencia de complicaciones renales, en especial la oligoanuria, en víctimas de electrización de alta tensión. La rehidratación temprana y cuidadosa y la alcalinización intravenosa es el tratamiento preferente en víctimas de quemaduras graves. Se han comunicado algunos casos de albuminuria y de hematuria microscópica persistente.

1.2.4 Observando cuadros clínicos y problemas diagnósticos

El cuadro clínico de la descarga eléctrica es complicado por la variedad de aplicaciones industriales de la electricidad y por sus cada vez más frecuentes y variadas aplicaciones médicas. Ahora bien, durante mucho tiempo los únicos accidentes eléctricos fueron los provocados por descargas atmosféricas (Gourbiere y cols. 1994). Las descargas atmosféricas acumulan cantidades de electricidad muy notables: una de cada tres víctimas de descargas atmosféricas muere. Los efectos de una descarga atmosférica —quemaduras y muerte aparente— son comparables a los resultantes de la electricidad industrial y son atribuibles a descarga eléctrica, a transformación de energía eléctrica en calor, a efectos de estallido y a las propiedades eléctricas del rayo.

Las descargas atmosféricas son tres veces más frecuentes en hombres que en mujeres, lo cual refleja pautas de trabajo con distintos riesgos de exposición al rayo.

Los efectos más corrientes observados en víctimas de electrización yatrogénica son las quemaduras resultantes del contacto con superficies metálicas puestas a masa de escalpelos eléctricos.

La magnitud de las corrientes de fuga aceptables en dispositivos electromédicos varía de un dispositivo a otro. Lo mínimo que debe hacerse es observar las especificaciones de los fabricantes y las recomendaciones de empleo.

Para concluir esta sección nos gustaría debatir el caso especial de la descarga eléctrica en mujeres embarazadas, que puede provocar la muerte de la mujer, del feto o de ambos. En un caso célebre, un feto vivo fue liberado con éxito mediante un corte de cesárea 15 minutos después de que su madre hubiera muerto por electrocución a 220 V (Folliot 1982).

Los mecanismos patofisiológicos del aborto provocado por descarga eléctrica exige un estudio más detallado. ¿Es provocado por trastornos de conducción en el tubo cardíaco embrionario sometido a un gradiente de tensión, o por desgarro de la placenta resultante de vasoconstricción?

La aparición de accidentes eléctricos tan raros como éste son un motivo más para exigir notificación de todos los casos de lesiones ocasionadas por la electricidad.

1.2.5 El diagnóstico positivo y médico-legal

Las circunstancias en las cuales ocurre la descarga eléctrica son por lo general lo bastante claras para permitir un diagnóstico etiológico inequívoco. Pero no siempre es éste el caso, incluso en entornos industriales.

El diagnóstico de fallo circulatorio tras la descarga eléctrica es de extraordinaria importancia, puesto que exige que haya personas en las cercanías que inicien los primeros auxilios inmediatos y básicos una vez que se haya cortado la corriente.

La parada respiratoria en ausencia de pulso es una indicación absoluta para comenzar el masaje cardíaco y la respiración artificial boca a boca. Antes, estas medidas sólo se tomaban cuando aparecía midriasis (dilatación de las pupilas), signo diagnóstico de lesión cerebral aguda. Pero la práctica actual es intervenir tan pronto como el pulso deje de ser detectable.

Como la pérdida de conciencia debida a la fibrilación ventricular tarda varios segundos en presentarse, las víctimas tienen tiempo de apartarse del equipo que ha originado el accidente.

Es un asunto con cierta importancia médico-legal: por ejemplo, cuando la víctima de un accidente se encuentra a varios metros de un armario eléctrico u otra fuente de tensión sin signos de lesión eléctrica.

No debe olvidarse que la ausencia de quemaduras eléctricas no excluye la posibilidad de electrocución. Si la autopsia de individuos hallados en ambientes eléctricos o cerca de un equipo capaz de generar tensiones peligrosas no revela lesiones de Jelinek visibles y ningún signo aparente de muerte, se debe considerar la posibilidad de electrocución.

Si el cuerpo se encuentra en el exterior, al diagnóstico de descarga atmosférica se llega por el proceso de eliminación.

Se deben buscar signos de descarga atmosférica en un círculo de 50 metros de radio alrededor del cuerpo. El museo de electropatología de Viena ofrece una exhibición impresionante de estos signos, entre los que se cuentan vegetación carbonizada y arena vitrificada. Los objetos metálicos que llevaba la víctima pueden aparecer fundidos.

Aunque por fortuna el suicidio por medios eléctricos es raro en la industria, las muertes en la que la negligencia es un factor propiciatorio siguen siendo una triste realidad. Suele suceder sobre todo en emplazamientos no normalizados, en especial los que incluyen la instalación y operación de suministros eléctricos provisionales en condiciones exigentes.

No hay motivo para que sigan ocurriendo accidentes eléctricos, puesto que se dispone de medidas preventivas eficaces.

1.3 Electricidad estática y arco eléctrico

Todos los materiales difieren en el grado en que permiten el paso de cargas eléctricas. Los materiales conductores permiten el paso de cargas, mientras que los aislantes obstaculizan su movimiento. La electrostática es el campo de la ciencia dedicado a estudiar las cargas o los cuerpos cargados en reposo. Se tiene electricidad estática cuando en los objetos se forman cargas eléctricas que no se desplazan. Si las cargas circulan, se establece una corriente y la electricidad ya no es estática. Los no profesionales dan el nombre de electricidad a la corriente resultante de las cargas en movimiento, fenómeno que se explica más adelante. Electrización estática es el término utilizado para designar cualquier proceso que dé por resultado la separación de cargas eléctricas positivas y negativas. La conducción se mide con una propiedad denominada conductancia, mientras que un aislante se caracteriza por su resistividad. La separación de cargas que conduce a la electrización es resultado de procesos mecánicos: por ejemplo, el contacto entre objetos, la fricción o la colisión de dos superficies. Puede tratarse de dos superficies sólidas o una sólida y otra líquida. Es más raro que el proceso mecánico sea la ruptura o separación de superficies sólidas o líquidas. En este artículo nos ocupamos del contacto y de la fricción.

Procesos de electrización

El fenómeno de generación de electricidad estática por fricción (triboelectrización) se conoce desde hace miles de años. Para inducir electricidad basta con que haya contacto entre dos materiales.

La fricción sólo es un tipo de interacción que aumenta el área de contacto y genera calor: fricción es el término general que describe el movimiento de dos objetos en contacto; la presión ejercida, su velocidad de deslizamiento y el calor generado son los determinantes principales de la carga generada por fricción.

Algunas veces, la fricción originará también el arranque de partículas sólidas.

Cuando los dos sólidos en contacto son metales (contacto metal-metal), hay migración de electrones de uno al otro. Cada metal se caracteriza por un potencial inicial diferente (potencial de Fermi), y la naturaleza tiende siempre al equilibrio; es decir, los fenómenos naturales trabajan para eliminar las diferencias de potencial. Tal migración de electrones da lugar a la generación de un potencial de contacto. Como las cargas de un metal son muy móviles (los metales son conductores excelentes), las cargas se recombinarán incluso en el último punto de contacto antes de que los dos metales se separen. Por lo tanto, es imposible inducir electricidad por el hecho de poner en contacto dos metales y separarlos después; las cargas se desplazarán siempre para eliminar la diferencia de potencial.

Cuando un metal y un aislante entran en contacto casi sin fricción en el vacío, el nivel de energía de los electrones del metal se aproxima al del aislante. Impurezas superficiales o del volumen se encargan de que ocurra así e impiden también la formación de un arco (la descarga de electricidad entre los dos cuerpos cargados: los electrodos) en el momento de la separación. La carga transferida al aislante es proporcional a la afinidad electrónica del metal, y cada aislante tiene también una afinidad electrónica, o atracción de electrones, asociada con ella. Así pues, también es posible la transferencia de iones positivos o negativos del aislante al metal.

Cuando dos aislantes entran en contacto, tiene lugar una transferencia de cargas a causa de los diferentes estados de su energía superficial. Las cargas transferidas a la superficie de un aislante pueden migrar hacia capas más profundas del material. La humedad y la contaminación superficial pueden modificar en gran medida el comportamiento de las cargas. La humedad superficial en particular incrementa las densidades de estados de energía superficial al aumentar la conducción superficial, que favorece la recombinación de cargas, y facilita la movilidad iónica. La mayoría de las personas reconocerán este fenómeno por sus experiencias cotidianas, ya que saben que en tiempo seco están sujetos a electricidad estática.

El contenido de agua de algunos polímeros (plásticos) cambiará cuando se cargan. El aumento o disminución del contenido de agua llega a invertir el sentido de la circulación de cargas (su polaridad).

La polaridad (positividad y negatividad relativas) mutua de dos aislantes en contacto depende de la afinidad electrónica de cada material. Los aislantes se clasifican por sus afinidades electrónicas.

La afinidad electrónica de un aislante es una consideración importante en los programas de prevención que se debaten más adelante.

Aunque ha habido intentos de establecer una serie triboeléctrica que ordenaría los materiales de manera que los que adquieren carga positiva al ponerse en contacto con materiales aparecieran en la serie antes que los que adquieren carga negativa al ponerse en contacto con esos mismos materiales, no se ha llegado a establecer una serie reconocida en todo el mundo.

Cuando se juntan un sólido y un líquido (para formar una interfaz sólido-líquido), hay una transferencia de cargas por la migración de los iones existentes en el líquido. Tales iones surgen de la disociación de posibles impurezas o por reacciones electroquímicas de oxidación-reducción. Como en la práctica no existen líquidos perfectamente puros, siempre habrá en el líquido algunos iones positivos y negativos que puedan ligarse a la interfaz líquido-sólido. Hay muchos tipos de mecanismo mediante los cuales se pueda inducir esta ligadura (p. ej., adherencia electrostática a superficies metálicas, absorción química, inyección electrolítica, disociación de grupos polares y, si la pared de la vasija es aislante, reacciones líquido-sólido.)

Como las sustancias que disuelven (disocian) son eléctricamente neutras en principio, generarán igual número de cargas positivas y negativas. La electrización sólo ocurre si las cargas positivas o las negativas se adhieren con preferencia a la superficie del sólido. Si sucede esto, se forma una capa muy compacta conocida como la capa de Helmholtz. Como la capa de Helmholtz está cargada, atraerá hacia sí iones de la polaridad opuesta. Tales iones se agruparán en una capa más difusa, conocida como capa de Gouy, que se sitúa encima de la superficie de la capa compacta de Helmholtz. El espesor de la capa de Gouy aumenta con la resistividad del líquido. Los líquidos conductores forman capas de Gouy muy delgadas.

La doble capa se separará si el líquido fluye y entonces la capa de Helmholtz permanecerá ligada a la interfaz y la capa de Gouy será arrastrada por el líquido que se desplaza. El movimiento de estas capas cargadas produce una diferencia de potencial (el potencial zeta), y la corriente inducida por las cargas móviles se conoce como la corriente de gasto. La cantidad de carga que se acumula en el líquido depende del ritmo al cual los iones se difunden hacia la interfaz y de la resistividad del líquido (r).

Ahora bien, la corriente de gasto es constante a lo largo del tiempo. Ni los líquidos muy aislantes ni los conductores llegan a cargarse; los primeros porque hay muy pocos iones en presencia, y los segundos porque en líquidos que conducen muy bien la electricidad, los iones se recombinarán con gran rapidez. En la práctica, sólo habrá electrización en líquidos cuya resistividad sea mayor que 107 Ω m o menor que 1011 Ω m. Los mayores valores observados son de r= 109a 1011 Ω m.

Los líquidos en movimiento inducirán acumulación de carga en las superficies aislantes sobre las cuales discurren. La medida de la formación de densidad superficial de carga estará limitada (1) por la rapidez con que los iones del líquido se recombinen en la

interfaz líquido-sólido, (2) por la velocidad con que los iones del líquido sean conducidos por el aislante, o (3) porque se originen arcos en la superficie o el volumen del aislante y por lo tanto se pierda la carga. El régimen turbulento y el movimiento sobre superficies rugosas favorecen la electrización.

Si a un cuerpo cargado (un electrodo) que tiene un radio pequeño (p. ej., un alambre) se le aplica una tensión alta (de varios kilovoltios), el campo eléctrico en la proximidad inmediata del cuerpo cargado es elevado, pero disminuye en seguida con la distancia. Si hay descarga de las cargas almacenadas, dicha descarga estará limitada a la región en que el campo eléctrico es más intenso que la rigidez dieléctrica de la atmósfera circundante, fenómeno conocido como efecto corona, porque el arco también emite luz. (Muchas personas han visto las chispitas que se forman cuando han experimentado en su propia persona un shock de electricidad estática.)

La densidad de carga en una superficie aislante se modifica también por los electrones en movimiento generados por un campo eléctrico de gran intensidad. Tales electrones generarán iones a partir de las moléculas de gas existentes en la atmósfera con la cual entran en contacto. Cuando la carga eléctrica del cuerpo sea positiva, el cuerpo cargado repelerá los iones positivos que se hayan generado. Los electrones creados por objetos cargados negativamente perderán energía a medida que se retiran del electrodo, y se ligarán a moléculas gaseosas de la atmósfera para formar iones negativos que continuarán separándose de los puntos de carga. Los iones positivos y negativos quedan en reposo sobre cualquier superficie aislante y modifican la densidad de carga de la superficie. Es un tipo de carga mucho más fácil de controlar y más uniforme que las cargas generadas por fricción. Las cargas generadas de esta forma tienen un límite, que se describe matemáticamente en la ecuación 3 de la Tabla 40.2.

Para generar cargas más altas, es preciso incrementar la rigidez dieléctrica del ambiente, bien mediante la creación de un vacío, bien por metalización de la otra superficie de la película aislante. Por este último método se arrastra el campo eléctrico hacia dentro del aislante y por lo tanto se reduce la intensidad de campo en el gas circundante.

Cuando un conductor sumergido en un campo eléctrico (E) se pone a tierra (véase la Figura 40.1), pueden producirse cargas por inducción. En estas condiciones, el campo eléctrico induce polarización (separación de los centros de gravedad de los iones negativos y positivos del conductor). Un conductor que se ponga a tierra temporalmente en un solo punto adquirirá una carga neta cuando se desconecte de tierra, a causa de la migración de cargas en la proximidad del punto. De aquí que las partículas conductoras situadas en un campo uniforme oscilen entre electrodos y produzcan cargas y descargas en cada contacto.

1.3.1 Peligros asociados a la electricidad estática y Arco Eléctrico

Los efectos nocivos provocados por la acumulación de electricidad estática y el arco eléctrico varían desde la incomodidad que se experimenta cuando al tocar un objeto cargado, como la manilla de una puerta, hasta las lesiones muy graves, incluso fallecimientos, provocadas por una explosión debida a la electricidad estática.

El efecto fisiológico de las descargas electrostáticas en seres humanos varía desde una picazón incómoda hasta acciones reflejas violentas. Se trata de efectos producidos por la corriente de descarga y, en especial, por la densidad de corriente en la piel.

En esta unidad describiremos algunas de las formas por las cuales las superficies y los objetos se cargan en la práctica (electrización).

Cuando el campo eléctrico inducido supera la capacidad del ambiente circundante para resistir a la carga (es decir, supera a la rigidez dieléctrica del ambiente), tiene lugar una descarga. (En el aire, la rigidez dieléctrica viene descrita por la curva de Paschen, y depende del producto de la presión por la distancia entre los cuerpos cargados.)

Las descargas disruptivas adoptan las formas siguientes:

- Chispas o arcos que puentean dos cuerpos cargados (dos electrodos metálicos);
- Descargas parciales, o en escobilla, que puentean un electrodo metálico y un aislante, o incluso dos aislantes; estas descargas se denominan parciales porque el camino de conducción no pone en cortocircuito dos electrodos metálicos, sino que en general es múltiple y en forma de escobilla,
- Descargas en corona, conocidas también como poder de las puntas, que surgen en el fuerte campo eléctrico formado alrededor de cuerpos cargados o electrodos de radio muy pequeño.

Los conductores aislados tienen una a capacidad neta C con respecto a tierra.

Una persona que lleve calzado aislante es un ejemplo corriente de conductor aislado. El cuerpo humano es un conductor electrostático, con una capacidad típica respecto a tierra de unos 150 pF y un potencial de hasta 30 kV. Como las personas son conductores aislados, pueden experimentar descargas electrostáticas, como la sensación (más o menos desagradable) que se nota cuando una mano se acerca a la manilla de una puerta o a otro objeto metálico. Cuando el potencial alcanza el valor aproximado de 2 kV, se experimentará el equivalente a una energía de 0,3 mJ, aunque este umbral varía de una persona a otra. Si las descargas son más fuertes, los movimientos reflejos involuntarios pueden originar caídas. En el caso de trabajadores que utilizan herramientas,

ello puede dar lugar a lesiones en la víctima y en otras personas que se hallen trabajando cerca.

El arco real saltará cuando la fuerza del campo eléctrico inducido supere a la rigidez dieléctrica del aire. Debido a la rápida migración de las cargas en conductores, casi todas éstas confluyen en el punto de descarga y liberan toda la energía almacenada en forma de chispa. Las consecuencias son graves cuando se trabaja con sustancias inflamables o explosivas o en un ambiente inflamable.

La aproximación de un electrodo puesto a tierra a una superficie aislante cargada modifica el campo eléctrico e induce una carga en el electrodo. A medida que las superficies se acercan entre sí, la intensidad del campo aumenta y puede llegar a originar una descarga parcial desde la superficie aislante cargada. Como las cargas de las superficies aislantes no son muy móviles, en la descarga sólo participa una pequeña proporción de la superficie, y por consiguiente la energía liberada en este tipo de descarga es mucho menor que en los arcos.

La carga y la energía transferida parecen ser directamente proporcionales al diámetro del electrodo metálico, hasta unos 20 mm. La polaridad inicial del aislante también influye en la carga y en la energía transferida. Las descargas parciales de las superficies con carga positiva son menos energéticas que si las cargas son negativas. Es imposible determinar a priori la energía transferida por una descarga desde una superficie aislante, al contrario que ocurre en la situación que afecta a superficies conductoras. En realidad, como la superficie aislante no es equipotencial, ni siquiera es posible definir las capacidades que intervienen.

1.3.2 Descarga disruptiva

Si consideramos una placa aislante o una película de espesor a, que descansa en un electrodo metálico o que tenga una cara metálica, es fácil demostrar que el campo eléctrico es arrastrado hacia el interior del aislante por la carga inducida en el electrodo a medida que se depositan cargas en la cara no metálica. El resultado es que el campo eléctrico en el aire se debilita y se hace menor que si una de las caras no fuera metálica.

En este caso, la rigidez dieléctrica del aire no limita la acumulación de carga en la superficie aislante y es posible alcanzar densidades de carga muy elevadas (>2.660 pC/cm2). La acumulación de carga aumenta la conductividad superficial del aislante.

Cuando un electrodo se aproxima a una superficie aislante, tiene lugar una descarga disruptiva que afecta a una gran proporción de la superficie cargada, que se ha convertido en conductora. Debido a las grandes áreas superficiales que intervienen, este tipo de descarga libera grandes cantidades de energía. En el caso de películas, el campo en el aire es muy débil, y la distancia entre el electrodo y la película no puede ser mayor que el espesor de la película para que suceda la descarga. La descarga disruptiva se produce también cuando un aislante cargado se separa de su alma metálica. En tales

circunstancias, el campo en el aire experimenta un aumento abrupto y toda la superficie del aislante se descarga para restablecer el equilibrio.

1.3.3 Descargas electrostáticas y peligros de incendio y explosión

En atmósferas explosivas pueden tener lugar violentas reacciones de oxidación exotérmicas, con transferencia energética a la:

- Llamas francas
- Chispas eléctricas
- Chispas de radiofrecuencia en las inmediaciones de una emisora de radio potente
- Chispas producidas por colisiones (p. ej., entre metal y hormigón)
- Descargas electrostáticas.

Nos interesa únicamente este último caso. El peligro de incendio asociado a las descargas electrostáticas se calcula tomando como referencia el límite inferior de inflamabilidad de los gases, vapores y sólidos o de los aerosoles líquidos. El límite puede variar en términos considerables.

Una mezcla de aire y de un gas o vapor inflamable sólo explosiona si la concentración de la sustancia inflamable está situada entre sus límites explosivos superior e inferior. Dentro de este intervalo, la energía mínima de ignición (EMI), o energía que ha de poseer una descarga electrostática para incendiar la mezcla, depende íntimamente de la concentración. Se ha demostrado de modo concluyente que la energía mínima de ignición depende de la velocidad de liberación de energía y, por extensión, de la duración de la descarga. El radio del electrodo es otro factor condicionante:

- Los electrodos de pequeño diámetro (del orden de varios milímetros) dan lugar a descargas en corona en vez de producir chispas.
- Con electrodos de diámetros mayores (del orden de varios centímetros), la masa del electrodo se basta para enfriar las chispas.

En general, las EMI más bajas se obtienen con electrodos que tienen el tamaño justo para impedir descargas en corona.

La EMI depende también de la distancia entre los electrodos, y es mínima a la distancia de amortiguación (“distance de pincement”), distancia a la cual la energía producida en la zona de reacción se hace superior a las pérdidas térmicas en los electrodos.

Se ha demostrado experimentalmente que cada sustancia inflamable tiene una distancia de seguridad máxima, correspondiente a la distancia entre electrodos mínima a la cual ocurre una explosión. En los hidrocarburos, esta distancia es menor que 1 mm.

La probabilidad de explosiones de polvo depende de su concentración. La probabilidad máxima va asociada a concentraciones del orden de 200 a 500 g/m3. La EMI también depende del tamaño de las partículas, y las más finas son las que explosionan con más facilidad. Tanto en gases como en aerosoles, la EMI disminuye con la temperatura.

1.3.4 Algunos ejemplos de la industria

Muchos procesos utilizados a diario para manipular y transportar sustancias químicas generan cargas electrostáticas. Entre ellas se cuentan:

- El vertido de polvos desde sacos;
- El cernido;
- El transporte por tuberías;
- La agitación de líquidos, sobre todo en presencia de varias fases, sólidos suspendidos o gotitas de líquidos no miscibles;
- El rociado o niebla de líquidos.

Las consecuencias de la generación de cargas electrostáticas comprenden problemas mecánicos, peligro de descarga electrostática en los operadores y, si se utilizan productos que contengan disolventes o vapores inflamables, incluso explosión.

Los hidrocarburos líquidos, como el petróleo, el queroseno y muchos disolventes corrientes, tienen dos características que les confieren una sensibilidad especial a los problemas de electricidad estática:

- Resistividad alta, que les permite acumular elevados niveles de cargas,
- Vapores inflamables, que aumentan el riesgo de descargas de baja energía que disparan incendios y explosiones.

Pueden generarse cargas durante el transporte (p. ej., en la circulación por tuberías, bombas o válvulas). El paso por filtros finos, como los utilizados durante el llenado de los

depósitos de aviones, genera densidades de carga de varios centenares de microculombios por metro cúbico. La sedimentación de partículas y la generación de nieblas o espumas cargadas durante el llenado de depósitos también origina cargas.

Entre 1953 y 1971 la electricidad estática fue la responsable de 35 incendios y explosiones durante el llenado o a continuación del llenado de depósitos de queroseno, y durante el llenado de depósitos de camiones se produjeron aún más accidentes.

La presencia de filtros o salpicaduras durante el llenado (que pueden generar espumas o nieblas) son los factores de riesgo que más veces fueron identificados. También hubo accidentes a bordo de barcos petroleros, sobre todo durante la limpieza de tanques.

1.4 Prevención de Accidentes Eléctricos

Los Principales Riesgos Laborales y sus medidas preventivas

Las Caídas al mismo nivel

Medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Ordenar las herramientas en paneles o cajas, y los materiales que se necesiten para trabajar.
- Cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa.
- Mantener las zonas de paso despejadas y perfectamente iluminadas.
- Instalar suelos y escalones antideslizantes de fácil limpieza y desinfección.
- Usar calzado apropiado, con suela antideslizante y con los cordones debidamente anudados.
- Eliminar suciedades con las que se pueda resbalar o tropezar y utilizar calzado adecuado con suela antideslizante.
- Marcar y señalizar los obstáculos que no puedan ser eliminados.
- Con las alargaderas eléctricas, cuidar los retorcimientos, nudos, etc. El recorrido de las alargaderas discurrirá por el marco y no por el suelo si pasan frente a una puerta o apertura de paso. En el caso de ir tendidas por el suelo, discurrirán próximas a paredes.

Caídas a distinto nivel

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Uso de escaleras de mano con apoyos antideslizantes y correcto ángulo de colocación
- (75º).
- A las escaleras de mano se debe subir con precaución, siempre de frente a ellas, agarrándose con las dos manos al subir y al bajar, no llevando objetos en las manos.
- Colocar en altillos o zonas de trabajos elevados, barandillas con listón intermedio y rodapies.
- Abrir las escaleras de tijera completamente.
- Cubrir toda abertura en el suelo o colocar barandillas.
- Montar correctamente los andamios, certificados por un laboratorio
- Si los equipos de protección colectiva no son suficientes, utilizar EPP: cinturones, arnés, cuerdas de amarre, etc.

Golpes y Atrapamiento

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Comprar máquinas y herramientas seguras
- Proteger la parte cortante de las máquinas con resguardos móviles con enclavamiento, resguardos regulables o retráctiles.
- Utilizar resguardos fijos, envolventes o distanciadores, si no es necesario acceder a la zona peligrosa.
- Cumplir las normas de seguridad indicadas por el fabricante.
- Uso de la maquinaria sólo por el personal designado por la empresa, con formación e información de sus peligros.
- Prohibir los trabajos a menores en sierras, prensas, tupís o cualquier otra máquina peligrosa.

- Usar los equipos de protección individual que sean necesarios en cada operación (guantes, gafas).

Quemaduras por contacto

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Apantallar y/o separar las zonas de riesgo, señalizándolas adecuadamente.
- Aislar térmicamente los objetos y las herramientas (asas, mangos, etc.)
- Trabajar en espacios lo más amplios posible.
- Aislar térmicamente las superficies calientes.
- Utilizar equipos de protección individual en caso de manipular objetos o superficies calientes.

Contacto Eléctrico directo e Indirecto

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Realizar periódicas inspecciones visuales de los equipos y herramientas antes de su utilización y después de una modificación, reparación, accidente o incidente, así como de su comportamiento eléctrico.
- Seguir en todo momento las instrucciones del fabricante en el uso, mantenimiento, conservación y reparación de las herramientas y equipos de trabajo eléctricos, estando disponibles y en español.
- Comprobar que las características eléctricas son adecuadas al trabajo (atmósferas explosivas, húmedas, riesgo de incendio, etc.)
- Asegurarse de que los equipos y herramientas cumplen con la normativa legal exigible, y utilizarlas únicamente para la finalidad que indica el fabricante.
- Utilizar escaleras que sean aislantes en todas sus partes.
- Evitar el uso de ladrones en enchufes de corriente.
- Utilizar para los elementos portátiles, doble aislamiento o tensiones de seguridad.

- El interruptor principal debe estar accesible y libre de obstáculos, debiendo permanecer cerrado el cuadro eléctrico y señalizado el peligro eléctrico.

- Comprobar periódicamente el estado del conductor de protección y la toma de tierra.

- Comprobar periódicamente el estado del interruptor diferencial, disparándolo mediante el pulsador de Test.

Trabajos en proximidad de elementos de tensión

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Instalar apantallamiento.

- Recubrir los conductores con aislantes.

- Limitar las distancias de trabajo y proximidad.

- Limitar el campo de acción de los equipos elevadores.

Riesgos eléctricos en accesos a lugares

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Restringir el acceso a los lugares con peligro eléctrico a personas ajenas a los trabajos.

- Señalizar y delimitar las zonas con peligro eléctrico.

- Utilizar iluminación artificial en caso de que sea insuficiente la iluminación natural.

Exposición a campos electromagnéticos

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Respetar los valores límites para campos eléctricos y magnéticos.

- Señalizar las zonas de peligro por campos electromagnéticos.

- Permitir el acceso sólo al personal formado y autorizado.

- Informar a los portadores de marcapasos.

Exposición al ruido

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Comprar máquinas y equipos de trabajo certificados, teniendo en cuenta el nivel de ruido que producen (rotativas, plegadoras).
- Efectuar un mantenimiento adecuado de máquinas y herramientas.
- Aislar las fuentes de ruido, instalándolas lo más lejos posible de las zonas de trabajo.
- Reducir el tiempo de exposición mediante turnos de trabajo.
- Delimitar y señalizar las zonas de exposición al ruido.
- Utilizaremos los EPP adecuados al nivel de ruido ambiental
- Informar a los trabajadores del riesgo que supone trabajar con ruido.

Climatología exterior

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Utilizar medios de protección contra el sol.
- Utilizar ropa de protección en función de la climatología (impermeable, abrigos, etc.).
- Suspender los trabajos cuando las condiciones atmosféricas puedan ocasionar un accidente.

Organización y métodos de trabajo

Las medidas preventivas que adoptaremos serán:

- Antes de comenzar cualquier trabajo, informar a los trabajadores del estado de la instalación.
- Debe existir un documento escrito de los trabajos a realizar.

- Formación en primeros auxilios ante un accidente eléctrico.

1.4.3 Peligros y medidas preventivas en instalaciones eléctricas

Los numerosos componentes que forman parte de las instalaciones eléctricas presentan diversos grados de robustez. Pero con independencia de su inherente fragilidad, todos tienen que funcionar con fiabilidad en condiciones inclementes. Por desgracia, aun en las mejores circunstancias, el equipo eléctrico está sujeto a fallos susceptibles de ocasionar lesiones a las personas o daños materiales.

El funcionamiento seguro de las instalaciones eléctricas es el resultado de un buen diseño inicial, no la mera actualización debida a los sistemas seguridad. Tal afirmación es un corolario del hecho de que mientras la corriente circula a la velocidad de la luz, todos los sistemas electromecánicos y electrónicos presentan retardos de reacción provocados sobre todo por la inercia térmica, la inercia mecánica y las condiciones de mantenimiento.

Los retardos, cualesquiera que sean sus orígenes, son lo bastante duraderos para que las personas puedan sufrir lesiones, y el equipo, daños (Lee, Capelli-Schellpfeffer y Kelly 1994; Lee, Cravalho y Burke 1992; Kane y Sternheim 1978.)

Es esencial que el equipo sea instalado y mantenido por personal calificado. Se debe subrayar que es preciso establecer medidas técnicas que garanticen el funcionamiento seguro de las instalaciones y al mismo tiempo protejan al personal y al equipo.

1.4.4 Introducción a los peligros eléctricos

La operación adecuada de las instalaciones eléctricas exige que la maquinaria, el equipo y las líneas y circuitos eléctricos estén protegidos de los peligros causados tanto por factores internos (es decir, que surgen dentro de la instalación) como externos (Andreoni y Castagna 1983).

Las causas internas comprenden:

- Tensiones excesivas
- Cortocircuitos
- Modificación de la forma de onda de la corriente
- Inducción
- Interferencia

- Corrientes excesivas

- Corrosión, que provoca fugas de corriente eléctrica a tierra

- Calentamiento de materiales conductores y aislantes, que pueden producir quemaduras en el operador, emisiones de gases tóxicos, incendio de componentes y, en atmósferas inflamables, explosiones

- Fugas de líquidos aislantes, como el aceite,

- Generación de hidrógeno o de otros gases que favorezcan la formación de mezclas explosivas.

Cada combinación peligro-equipo exige medidas protectoras específicas, algunas de las cuales son obligatorias en virtud de leyes o de reglamentos técnicos internos. Los fabricantes tienen la responsabilidad de conocer las estrategias técnicas específicas capaces de reducir riesgos.

Entre las causas externas se cuentan:

- Factores mecánicos (caídas, golpes, vibración)

- Factores físicos y químicos (radiación natural o artificial, temperaturas extremas, aceites, líquidos corrosivos, humedad)

- Viento, hielo, rayos

- Vegetación (árboles y raíces, secos y mojados)

- Animales (en zonas urbanas y rurales), que pueden dañar el aislamiento de líneas de distribución de energía y, por lo tanto, provocar cortocircuitos o falsos contactos,

- Y, no menos grave aunque se mencione en último lugar, algunos adultos o niños descuidados, imprudentes o inconscientes de los riesgos y de los procedimientos de funcionamiento.

Otras causas externas son la interferencia electromagnética procedente de líneas de alta tensión, receptores de radio, máquinas de soldar (capaces de generar sobretensiones transitorias) y solenoides.

Las causas de los problemas más habituales proceden del mal funcionamiento o falta de normalización de elementos como:

- Equipo protector mecánico, térmico o químico

- Sistemas de ventilación, sistemas de refrigeración de máquinas, equipo, líneas o circuitos,

- Coordinación de aislantes empleados en partes diferentes de la planta

- Coordinación de fusibles y disyuntores automáticos.

Un solo fusible o disyuntor automático es incapaz de proporcionar una protección adecuada frente a excesivas corrientes en dos circuitos diferentes. Los fusibles o disyuntores automáticos protegen contra fallos de fase-neutro, pero la protección contra fallos de fase-tierra exige disyuntores automáticos de corriente residual. Se recomiendan las medidas siguientes:

- Utilización de relés de tensión y descargadores para coordinar los sistemas de protección; • sensores y componentes mecánicos o eléctricos en los sistemas protectores de la instalación

- Separación de circuitos a tensiones diferentes (debe mantenerse una separación de aire adecuada entre conductores; las conexiones deben estar aisladas; los transformadores se deben equipar con pantallas conectadas a tierra y protección conveniente contra tensiones excesivas, y con bobinados de primario y secundario totalmente segregados)

- Códigos de colores u otras precauciones útiles para evitar equivocaciones en la identificación de hilos

- Confundir el conductor de la fase activa con el neutro da lugar a la electrización de los componentes metálicos externos del equipo,

- Equipo de protección contra interferencia electromagnética.

La importancia de estas medidas es especial en la instrumentación y las líneas utilizadas para la transmisión de datos o el intercambio de señales de protección y/o control. Se debe mantener la separación adecuada entre las líneas o los filtros y pantallas empleados.

En los casos más críticos se utilizan a veces cables de fibra óptica.

El riesgo asociado a las instalaciones eléctricas aumenta cuando el equipo trabaja en condiciones extremas, las más corrientes de las cuales se derivan de peligros eléctricos en ambientes húmedos o mojados.

Las finas capas conductoras líquidas que se forman sobre las superficies metálicas y aislantes en ambientes húmedos o mojados crean caminos nuevos, irregulares y peligrosos para la corriente. La infiltración de agua reduce la eficacia del aislamiento y, si el agua llega a penetrar en el aislamiento, puede provocar fugas de corriente y cortocircuitos. Se trata de efectos que no sólo dañan las instalaciones eléctricas, sino que multiplican los riesgos para las personas. Así, este peligro justifica la necesidad de normas especiales para trabajar en ambientes duros, como emplazamientos a la intemperie, instalaciones agrícolas, edificios en construcción, cuartos de baño, minas, bodegas y algunos emplazamientos industriales.

Se dispone de equipo que suministra protección contra la lluvia, las salpicaduras laterales o la inmersión completa.

El equipo ideal debe ser cerrado, aislado y anticorrosión.

Los recintos metálicos han de estar puestos a tierra. El mecanismo de fallo en estos ambientes mojados es el mismo que el observado en atmósferas húmedas, pero los efectos son más graves.

1.4.5 Los Peligros eléctricos en atmósferas pulverulentas

El polvo fino que entra en las máquinas y en el equipo eléctrico produce abrasión, sobre todo de las piezas móviles. El polvo conductor puede provocar también cortocircuitos, mientras que el polvo aislante interrumpe el paso de corriente y aumenta la resistencia de contacto. Las acumulaciones de polvo fino o grueso alrededor de las cajas de equipo son depósitos potenciales de humedad y agua. El polvo seco es un aislante térmico, que reduce la dispersión del calor y aumenta la temperatura local; este aumento puede dañar los circuitos eléctricos y provocar incendios o explosiones.

Se deben instalar sistemas estancos al agua y a prueba de explosión en emplazamientos industriales o agrícolas donde se lleven a cabo procesos en que intervengan polvos.

1.4.6 Los Peligros eléctricos en atmósferas explosivas o en emplazamientos que alberguen materiales explosivos

Las explosiones, incluidas las de atmósferas que contengan gases y polvos explosivos, pueden dispararse por la apertura y cierre de circuitos eléctricos activos, o bien por cualquier otro proceso transitorio capaz de generar chispas de energía suficiente.

He aquí los lugares en los que existe este peligro:

- minas y lugares subterráneos donde se puedan acumular gases, en especial metano;
- empresas químicas
- salas de almacenamiento de baterías de plomo, en las que se puede acumular hidrógeno
- el sector agroalimentario, en el que se pueden generar polvos orgánicos naturales
- el sector de materiales sintéticos
- la metalurgia, en especial la que utiliza aluminio y magnesio.

Allí donde exista este peligro, el número de circuitos y equipos eléctricos deberá ser el mínimo: por ejemplo, mediante la eliminación de motores y transformadores eléctricos o su sustitución por equipo neumático. El equipo eléctrico que no pueda eliminarse debe quedar encerrado, para evitar cualquier contacto de gases y polvos inflamables con chispas, y mantenido dentro del recinto cerrado en una atmósfera de gas inerte a presión positiva.

Donde haya posibilidad de explosión se utilizarán recintos a prueba de explosión y cables eléctricos a prueba de incendios.

Se ha desarrollado un abanico completo de equipo a prueba de explosión para algunos sectores de alto riesgo (p. ej., el sector del petróleo y el químico).

Debido al elevado coste del equipo a prueba de explosión, las plantas se suelen dividir en zonas de distinto peligro eléctrico.

Cuando se aplica este criterio, en las zonas de alto riesgo se emplea equipo especial, mientras que en las demás se acepta un cierto grado de riesgo. Se han desarrollado diversos criterios y soluciones técnicas específicas de sectores; éstas comprenden por lo general alguna combinación de puesta a tierra, segregación de componentes e instalación de barreras divisorias de zonas.

1.5 Tensiones de paso y de contacto

Si todos los conductores que pudieran tocarse simultáneamente, incluso los de tierra, estuviesen al mismo potencial, no habría peligro para las personas. Los sistemas de unión equipotencial son un intento de lograr esta condición ideal (Andreoni y Castagna 1983; Lee, Cravalho y Burke 1992).

En la unión equipotencial, cada conductor expuesto del equipo eléctrico no dedicado a la transmisión y todo conductor accesible ajeno del mismo emplazamiento se conectan a un conductor de protección puesto a tierra. Debe recordarse que mientras los conductores de equipo no destinado a la transmisión están inactivos durante el funcionamiento normal, pueden activarse en caso de fallo de aislamiento. Al disminuir la tensión de contacto, la unión equipotencial impide que los componentes metálicos alcancen tensiones que lleguen a ser peligrosas para el personal y el equipo.

En la práctica, es necesario conectar la misma máquina a la malla de unión equipotencial en más de un punto. Deben identificarse con cuidado las zonas de contacto defectuoso debido, por ejemplo, al recubrimiento de aislantes como lubricantes y pintura. De modo similar, es conveniente conectar todas las tuberías de servicios locales y externos (p. ej., agua, gas y calefacción) a la rejilla de unión equipotencial.

1.5 La Puesta a tierra

En la mayoría de los casos, es necesario minimizar la caída de tensión entre los conductores de la instalación y tierra. Para realizarlo, los conductores se conectan a un conductor de protección puesto a tierra.

Hay dos tipos de conexiones de tierra:

• Tierras funcionales: por ejemplo, puesta a tierra del conductor neutro de un sistema trifásico, o del punto medio del devanado secundario de un transformador, • tierras de protección: por ejemplo, puesta a tierra de todos los elementos conductores de equipo. El objeto de este tipo de puesta a tierra es minimizar tensiones en los elementos conductores, mediante la creación de un camino preferente para las corrientes de fuga, en especial las corrientes que pudieran afectar a las personas.

En condiciones de funcionamiento normal, por las conexiones de puesta a tierra no pasa ninguna corriente. Pero en caso de activación accidental del circuito, la baja resistencia de la conexión de puesta a tierra hace que el paso de corriente sea lo bastante elevado para fundir el fusible o los conductores no conectados a tierra.

La tensión de fuga máxima en mallas equipotenciales admitida en la mayoría de las normas es 50 V para ambientes secos, 25 V para ambientes mojados o húmedos y 12 V para laboratorios médicos y otros ambientes de alto riesgo. Aunque estos valores

únicamente son indicativos, debe ponerse de relieve la necesidad de garantizar una toma de tierra adecuada en puestos de trabajo, espacios públicos y en residencias especiales.

La eficacia de la puesta a tierra depende sobre todo de la existencia de corrientes de fugas altas y estables a tierra, pero también de un acoplamiento galvánico adecuado de la malla equipotencial y del diámetro de los conductores de conexión a la malla. Debido a la importancia de las fugas a tierra, tiene que ser evaluada con gran exactitud.

Las conexiones a tierra tienen que ser tan fiables como las mallas equipotenciales, y es preciso verificar periódicamente su funcionamiento correcto.

A medida que la resistencia a tierra aumenta, el potencial del conductor de puesta a tierra y de la tierra en torno del conductor se aproxima a la del circuito eléctrico; en el caso de la tierra en torno del conductor, el potencial generado es inversamente proporcional a la distancia del conductor. Con objeto de evitar tensiones escalonadas peligrosas, los conductores de tierra han de estar apantallados como es debido y puestos a tierra a profundidades adecuadas.

Como alternativa a la puesta a tierra del equipo, las normas permiten emplear equipos con doble aislamiento. Su uso, recomendado en emplazamientos residenciales, minimiza la probabilidad de fallo del aislamiento al suministrar dos sistemas de aislamiento separados.

No es aconsejable confiar en que el equipo con doble aislamiento proteja como es debido contra fallos de conexiones, como los asociados a las clavijas sueltas pero activadas, puesto que las normas de algunos países relativas a clavijas y enchufes murales no consideran el empleo de dichas clavijas.

1.5.2 Disyuntores

El método más seguro de reducir peligros eléctricos para personas y equipo es minimizar la duración de la corriente de fuga y el aumento de tensión, en el momento ideal antes de que la energía eléctrica haya empezado a aumentar. Los sistemas de protección en el equipo eléctrico suele incorporar tres relés: un relé de corriente de defecto para proteger contra las fugas hacia tierra, un relé magnético y un relé térmico para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos.

En los disyuntores de corriente de defecto, los conductores del circuito se arrollan en torno a un anillo que detecta el vector suma de las corrientes entrantes y salientes del equipo a proteger. El vector suma es igual a cero durante el funcionamiento normal, pero es igual a la corriente de fuga en casos de fallo. Cuando esta corriente alcanza el umbral del disyuntor, éste se dispara. Los disyuntores de corriente de defecto se pueden disparar por corrientes tan bajas como 30 mA y con retardos tan breves como 30 ms.

La corriente máxima que transporta un conductor sin ningún peligro está en función del área de su sección transversal, su aislamiento y su instalación. Si se sobrepasa la carga segura máxima o si la disipación de calor está limitada, el conductor experimentará un calentamiento excesivo. Los dispositivos limitadores de corriente, como fusibles y disyuntores magnetotérmicos, cortan automáticamente el circuito si el paso de corriente es excesivo, o si aparecen corrientes a tierra, sobre carga o cortocircuito. Los dispositivos limitadores de corriente deben interrumpir el paso de corriente cuando ésta es superior a la permitida por la capacidad del conductor.

La elección de equipo protector capaz de proteger personal y equipo es uno de los aspectos más importantes de la gestión de instalaciones eléctricas y ha de tener en cuenta no sólo la capacidad de transporte de corriente de los conductores, sino también las características de los circuitos y del equipo conectado a ellos.

En los circuitos que soporten cargas de corriente muy altas será preciso emplear fusibles o disyuntores especiales de gran capacidad.

1.5.3 Fusibles

Existen varios tipos de fusibles, cada uno de ellos diseñado para una aplicación específica. El empleo de un tipo de fusible equivocado o de un fusible de capacidad inadecuada puede provocar lesiones a personas y daños al equipo. Los fusibles de capacidad excesiva originan con frecuencia el calentamiento del cableado o equipo, con la consiguiente posibilidad de que se produzcan incendios.

Antes de sustituir fusibles, deje el circuito fuera de servicio, efectúe el enclavamiento de los aparatos de corte y compruebe que está inactivo. La comprobación puede salvar vidas. A continuación, identifique la causa del posible cortocircuito o sobrecarga y sustituya los fusibles fundidos por otros del mismo tipo y capacidad. No inserte nunca fusibles en un circuito activo.

1.5.4 Disyuntores

Si bien los disyuntores se emplean desde hace mucho tiempo en circuitos de alta tensión con grandes capacidades de corriente, ha venido aumentando su utilización en muchas otras clases de circuitos. Existen numerosos tipos, que ofrecen opciones de armado inmediato y retardado y operación manual o automática.

Los disyuntores se clasifican en dos categorías generales: térmicos y magnéticos.

Los disyuntores térmicos únicamente reaccionan frente a la subida de temperatura. Por lo tanto, las variaciones de la temperatura ambiente del disyuntores afectará al punto en que el disyuntor se dispare.

Los disyuntores magnéticos, por el contrario, sólo reaccionan ante la cantidad de corriente que pasa por el circuito. Es un tipo de disyuntor más adecuado para los casos en que existan fluctuaciones amplias de la temperatura que exigirían sobredimensionar el disyuntor, o cuando el disyuntor se dispara con frecuencia.

En el caso de contacto con líneas que transporten mucha corriente, los circuitos de protección no impiden lesiones personales ni daños al equipo, puesto que se diseñan para proteger únicamente líneas y sistemas de transporte de energía del paso excesivo de corriente provocado por fallos.

Debido a la resistencia del contacto con tierra, la corriente que atraviesa un objeto que está en contacto al mismo tiempo con la línea y tierra será en general menor que la corriente de disparo. Las corrientes de defecto atravesando el cuerpo humano deben reducirse en mayor grado por la resistencia del cuerpo mientras no llegue a disparar el disyuntor, por lo que son extremadamente peligrosas. En la práctica, es casi imposible

Formación de personal en materia de riesgos eléctricos

La organización eficaz del trabajo y la formación en seguridad son elementos clave para tener éxito en cualquier organización, programa de prevención y programa de salud y seguridad en el trabajo. Los trabajadores han de poseer la formación adecuada para hacer su trabajo con seguridad y eficacia.

La responsabilidad de implantar la formación de empleados pertenece a la dirección, que ha de reconocer la necesidad de que para que la organización pueda alcanzar sus objetivos los empleados han de rendir a un determinado nivel. La consecución de estos niveles de rendimiento exige el establecimiento de políticas de formación y, por extensión, de programas concretos de formación. En los programas se deben incluir fases de formación y de calificación.

Los programas de trabajo con tensión incluirán los elementos siguientes:

Formación: En algunos países, los programas y las instalaciones de formación han de contar con la aprobación formal de un comité de trabajo con tensión u organismo similar. Los programas se basan ante todo en la experiencia práctica, complementada con formación técnica. La formación adopta la forma de trabajo práctico en instalaciones modelo, interiores o exteriores, semejantes a aquéllas en que se deberá realizar el trabajo real.

Calificaciones: Los procedimientos de trabajo con tensión son muy exigentes, e insisten en la necesidad de utilizar a la persona adecuada en el lugar correcto. La manera más fácil de lograrlo es disponer de personal cualificado con diferentes niveles de

especialización. La persona nombrada para controlar el trabajo debe ser un trabajador cualificado. Cuando sea necesaria la supervisión, también ésta debe ser responsabilidad de una persona cualificada. Los trabajadores sólo deben trabajar en instalaciones cuya tensión y complejidad se correspondan con su nivel de cualificación o formación. En algunos países, la cualificación está regulada por normas nacionales.

Por último, los trabajadores deben recibir instrucciones y formación en técnicas esenciales de salvamento.

2. PROTECCIONES CONTRA CONTACTOS ELÉCTRICOS

2.1 Símbolos y señaleticas

La señalización referida a un objeto, actividad o situación determinada, proporciona una indicación o una obligación relativa a la seguridad o la salud en el trabajo mediante una señal en forma de panel, un color, una señal luminosa o acústica, una comunicación verbal o una señal gestual.

Señales de advertencia

Son señales con forma triangular, con un pictograma negro sobre fondo amarillo, y bordes negros. Advierte de un riesgo o peligro.

Señales de Prohibición

Son señales con forma redonda, con un pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda transversal roja. Prohíbe un comportamiento susceptible de provocar un peligro.

Señales de obligación

Son señales con forma redonda, con un pictograma blanco sobre fondo azul. Obliga a un comportamiento determinado.

2.2 Protección contra contactos directos e indirectos

Los principios de la prevención de electricidad estática

Todos los problemas relativos a electricidad estática se derivan de:

- La generación de cargas eléctricas;

- La acumulación de estas cargas en aislantes o conductores aislados,

- El campo eléctrico producidos por estas cargas, que a su vez dan lugar a una fuerza o a una descarga disruptiva.

Las medidas preventivas tratan de evitar la acumulación de cargas electrostáticas, y la estrategia más recomendable es impedir que se generen las cargas eléctricas. Si esto no fuera posible, hay que aplicar medidas dirigidas a conectar las cargas a tierra. Por último, si la formación de descargas es inevitable, los objetos sensibles deberán protegerse contra los efectos de las descargas.

Supresión o reducción de la generación de cargas electrostáticas

Es la primera medida que debe emprenderse en la prevención electrostática, porque es la única medida preventiva que elimina el problema en su origen. Pero, como se ha descrito antes, las cargas se generan siempre que dos materiales, uno de los cuales como mínimo es aislante, entran en contacto y a continuación se separan. En la práctica, puede haber generación de carga incluso por contacto y separación de un material consigo mismo. En realidad, la generación de carga afecta a las capas superficiales de los materiales. Como la más ligera diferencia de humedad superficial o contaminación superficial da lugar a la generación de cargas estáticas, es imposible impedir por completo la generación de cargas.

Para reducir la cantidad de cargas generadas por superficies que entran en contacto, es preciso:

- Evitar que los materiales entren en contacto mutuo si tienen afinidades electrónicas muy diferentes; es decir, si están muy separados en la serie triboeléctrica. Por ejemplo, evitar el contacto entre vidrio y Teflon (PTFE), o entre PVC y poliamida (nailon)

- Reducir la tasa de flujo entre materiales, con lo cual disminuye la velocidad de deslizamiento entre materiales sólidos. Por ejemplo, puede reducirse el ritmo de extrusión de películas plásticas, del movimiento de materiales colocados en una cinta transportadora o el caudal de líquidos en una tubería.

No se han establecido límites definitivos de seguridad para medidas de caudal. La norma británica BS-5958- Parte 2 Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity recomienda que el producto de la velocidad (en metros por segundo) y el diámetro de la tubería (en metros) sea inferior a 0,38 para líquidos con conductividades menores que 5 pS/m (en picosiemens por metro) y menor que 0,5 para líquidos con conductividades superiores a 5 pS/m. Tal criterio sólo es válido para líquidos de una sola fase transportados a velocidades no superiores a 7 m/s.

Debe ponerse de relieve que al reducir la velocidad de deslizamiento o de flujo no sólo se disminuye la generación de cargas, sino que también se ayuda a disipar cargas que pudieran haberse generado. Y es así porque al disminuir las velocidades de circulación resultan tiempos de permanencia mayores que los asociados a las zonas de relajación, donde los caudales se reducen por estrategias, como aumentar el diámetro de las tuberías, lo cual, a su vez, incrementa la puesta a tierra.

2.4 Protecciones contra electrocución y simultaneas

2.4.1 Puesta a tierra de la electricidad estática

La regla básica de la prevención electrostática es eliminar las diferencias de potencial entre objetos. Para conseguirlo, o bien se conectan entre sí, o se ponen a masa (toma de tierra). Con todo, los conductores aislados acumulan cargas y por lo tanto se cargan por inducción, fenómeno exclusivo de ellos. Las descargas de conductores pueden adoptar la forma de chispas de alta energía y son peligrosas.

Se trata de una regla que se atiene a las recomendaciones en materia de prevención de descargas eléctricas, que también exigen la puesta a tierra de todas las partes metálicas accesibles, como se especifica en la norma francesa Instalaciones eléctricas de baja tensión (NFC 15-100). Para conseguir la máxima seguridad electrostática, que es lo que aquí nos ocupa, esta regla debe generalizarse a todos los elementos conductores. Se incluyen aquí cercos metálicos de mesa, manillas de puertas, componentes electrónicos, depósitos utilizados en las empresas químicas y el chasis de los vehículos que transportan Hidrocarburos.

Desde el punto de vista de seguridad electrostática, el ideal sería que todo fuera conductor y estuviera siempre puesto a tierra, a la que se transferirían en todo momento las cargas generadas. En estas circunstancias, todo tendría siempre el mismo potencial, y por lo tanto el campo eléctrico —y el riesgo de descarga— sería cero. Pero casi nunca es posible alcanzar esta situación ideal, por los motivos siguientes:

- No todos los productos que es necesario manipular son conductores, y muchos de ellos no pueden hacerse conductores mediante el uso de aditivos. Así sucede con numerosos productos agrícolas y farmacéuticos, así como con líquidos de gran pureza.

- Hay propiedades convenientes para el producto final, como por ejemplo la transparencia óptica o la baja conductividad térmica, que pueden excluir el empleo de materiales conductores.

- Es imposible disponer una puesta a tierra permanente en equipos móviles como carruajes metálicos, herramientas electrónicas sin cordón, vehículos e incluso operadores humanos.

Protección contra las descargas electrostáticas

Debe tenerse en cuenta que en esta sección únicamente se abordan la protección de equipo sensible a la electrostática contra descargas inevitables, la reducción de la generación de cargas y la eliminación de éstas. La capacidad de proteger el equipo no suprime la necesidad fundamental de prevenir ante todo la acumulación de carga electrostática.

Como se ilustra en la Figura 40.2 todos los problemas electrostáticos incluyen una fuente de descarga electrostática (el objeto cargado inicialmente), un blanco que recibe la descarga y el medio por el cual circula la descarga (descarga dieléctrica). Debe subrayarse que el blanco o el medio pueden ser sensibles a la electrostática.

Protección de trabajadores

Los trabajadores que tienen motivos para creer que se encuentran cargados eléctricamente (por ejemplo, cuando desmontan un vehículo en tiempo seco o andan con determinados tipos de calzado), pueden adoptar numerosas medidas protectoras, como las siguientes:

- Reducir la densidad de corriente en la piel, para lo cual basta con tocar un conductor puesto a tierra con un elemento metálico, como una llave o herramienta.

- Reducir el valor de cresta de la corriente mediante la descarga en un objeto disipador que se pueda tener a mano (un dispositivo de sobremesa o especial, como una muñequera protectora con resistencia en serie).

Protección en atmósferas explosivas

En atmósferas explosivas, es el propio ambiente el que resulta ser sensible a las descargas electrostáticas, que de ocurrir podrían dar lugar a ignición o explosión. En estos casos, la protección consiste en sustituir el aire, bien por una mezcla gaseosa cuyo contenido de oxígeno sea inferior a la concentración mínima para que la mezcla se inflame bien por un gas inerte, como el nitrógeno. Los gases inertes se han utilizado en silos y en vasijas de reacción de los sectores químico y farmacéutico. En este caso, es preciso tomar las precauciones debidas para garantizar que los trabajadores reciban un suministro de aire adecuado.