

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

"Guía Teórica del Técnico Electricista" TOMO I

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

SERGIO BORJA JIMENEZ

GUADALAJARA, JAL.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

CAPITULO 1 ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

| | |
|--|----|
| 1.1 ELECTROMAGNETISMO. ANTECEDENTES HISTORICOS. | 4 |
| 1.2 LA CARGA ELECTRICA. | 6 |
| 1.3 CAMPO ELECTRICO Y POTENCIAL. | 8 |
| 1.4 CONDUCTORES, AISLADORES Y SEMICONDUCTORES. | 12 |
| 1.5 CORRIENTE Y RESISTENCIA. | 13 |
| 1.5.1 La ley de Ohm. | 19 |
| 1.5.2 El efecto Joule. | 20 |
| 1.6 MAGNETISMO. | 21 |
| 1.7 EL CAMPO MAGNETICO. | 25 |
| 1.8 PROPIEDADES MAGNETICAS DE LOS MATERIALES. | 26 |
| 1.9 CAMPOS MAGNETICOS PRODUCIDOS POR CORRIENTES ELECTRICAS | 27 |
| 1.10 ELECTROIMANES. | 30 |
| 1.11 FLUJO MAGNETICO A TRAVES DE UNA ESPIRA. | 32 |
| 1.12 INDUCCION ELECTROMAGNETICA. LEY DE FARADAY. | 34 |
| 1.12.1 Ley de Faraday | 36 |

CAPITULO 2 CORRIENTE DIRECTA Y CORRIENTE ALTERNA

| | |
|---------------------|----|
| 2.1 FUENTES DE FEM. | 41 |
|---------------------|----|

| | |
|--|----|
| 2.2 GENERALIDADES. | 42 |
| 2.3 CORRIENTE DIRECTA. | 43 |
| 2.3.1 Potencia suministrada por una fuente de c.d. | 45 |
| 2.4 CORRIENTE ALTERNA. | 47 |
| 2.4.1 Características de voltajes y corrientes senoidales. | 51 |
| 2.4.2 Valores de voltajes y corrientes senoidales. | 57 |
| 2.4.3 Potencia suministrada por una fuente de c.a. | 59 |
| 2.5 VENTAJAS DE LA C.A. SOBRE LA C.D. | 60 |
| 2.6 PILAS QUIMICAS. | 62 |
| 2.6.1 Pila húmeda primaria. | 63 |
| 2.6.2 Pila seca de carbón-cinc. | 66 |
| 2.6.3 Pila de óxido de plata. | 68 |
| 2.6.4 Pila de mercurio. | 69 |
| 2.6.5 Pila alcalina de manganeso-cinc. | 71 |
| 2.6.6 Arreglos de pilas en serie y paralelo. | 72 |
| 2.6.7 Pilas secundarias. | 73 |
| 2.6.8 Acumulador de plomo. | 75 |
| 2.6.9 Acumulador de níquel-hierro. | 76 |
| 2.6.10 Acumulador de níquel-cadmio. | 76 |

CAPITULO 3 PRINCIPIOS Y FUNCIONAMIENTO DE ALGUNOS APARATOS ELECTRODOMESTICOS, APARATOS DE MEDICION Y-DISPOSITIVOS DE USO GENERAL.

| | |
|---|----|
| 3.1 APARATOS ELECTRODOMESTICOS. | 81 |
| 3.1.1 Aparatos que utilizan elementos calefactores. | 82 |
| 3.1.2 Aparatos que utilizan motores. | 85 |
| 3.1.3 Conexiones a tierra. | 94 |
| 3.2 APARATOS DE MEDICION. | 97 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.1 Tipos de medidores. Definición de términos. | 98 |
| 3.2.2 Mecanismos básicos de medición. | 100 |
| 3.2.3 Escalas. | 108 |
| 3.2.4 El amperímetro. | 110 |
| 3.2.5 El voltímetro. | 116 |
| 3.2.6 El ohmetro. | 120 |
| 3.2.7 El multímetro. | 128 |
| 3.2.8 El vatímetro. | 131 |
| 3.3 DISPOSITIVOS DE USO GENERAL. | 133 |
| 3.3.1 Resistores. | 133 |
| 3.3.2 Capacitores. | 143 |
| 3.3.3 El termostato. | 157 |
| 3.3.4 Fusibles. | 161 |

CAPITULO 4 CIRCUITOS ELECTRICOS.

| | |
|---|-----|
| 4.1 TERMINOLOGIA DE CIRCUITOS. | 169 |
| 4.2 ELEMENTOS DE UN CIRCUITO. | 170 |
| 4.2.1 Elementos resistivos. | 171 |
| 4.2.2 Elementos capacitivos. | 172 |
| 4.2.3 Elementos inductivos. | 174 |
| 4.3 CIRCUITOS DE CORRIENTE DIRECTA. | 174 |
| 4.3.1 Ley de Ohm. | 176 |
| 4.3.2 Leyes de Kirchhoff. | 177 |
| 4.3.3 Resolución de circuitos simples. | 178 |
| 4.3.4 Resolución de circuitos en general. | 181 |
| 4.3.5 Corto circuito. | 186 |
| 4.3.6 Circuitos capacitivos de corriente directa. | 188 |
| 4.3.7 Circuitos inductivos de corriente directa. | 191 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 4.4 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA. | 192 |
| 4.4.1 Circuitos resistivos. | 192 |
| 4.4.2 Circuitos capacitivos. | 195 |
| 4.4.3 Circuitos inductivos. | 197 |
| 4.4.4 Representaciones vectoriales. | 199 |
| 4.4.5 Impedancia. | 202 |
| 4.4.6 Circuitos RL. | 202 |
| 4.4.7 Circuitos RC. | 207 |
| 4.4.8 CIRCUITOS RLC. | 210 |

CAPITULO 5 TRANSFORMADORES.

| | |
|---|-----|
| 5.1 GENERALIDADES. | 217 |
| 5.2 CLASIFICACION GENERAL. | 219 |
| 5.3 OPERACION Y CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR. | 223 |
| 5.3.1 Transformador con secundario abierto. | 223 |
| 5.3.2 Transformador con secundario cargado. | 226 |
| 5.3.3 Relación de transformación. | 229 |
| 5.3.4 Regulación de voltaje. | 230 |
| 5.3.5 Pérdidas de potencia en un transformador. | 232 |
| 5.3.6 Eficiencia del transformador. | 233 |
| 5.3.7 Capacidad de los transformadores. | 234 |
| 5.4 CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LOS TRANSFORMADORES | 235 |
| 5.4.1 Construcción de los núcleos. | 237 |
| 5.4.2 Disposición de los devanados. | 239 |
| 5.4.3 Enfriamiento de los transformadores. | 242 |
| 5.5 CONEXIONES TRIFASICAS DE TRANSFORMADORES. | 247 |
| 5.5.1 Polaridad. | 247 |
| 5.5.2 Transformadores monofásicos en conexiones trifásicas. | 248 |

| | |
|---|-----|
| 5.5.3 Conexión de los transformadores trifásicos. | 254 |
| 5.6 OPERACION EN PARALELO DE TRANSFORMADORES. | 255 |
| 5.7 AUTOTRANSFORMADORES. | 257 |
| 5.7.1 Autotransformadores trifásicos. | 260 |
| CAPITULO 6 GENERADORES Y MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA. | |
| 6.1 GENERALIDADES. | 263 |
| 6.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR | 264 |
| 6.3 GENERADORES DE CORRIENTE DIRECTA. | 267 |
| 6.3.1 Características generales. | 267 |
| 6.3.2 Tipos de generadores. | 273 |
| 6.3.3 Reacción de armadura. | 284 |
| 6.3.4 Interpolos y devanados compensadores. | 287 |
| 6.3.5 Devanado de armadura. | 289 |
| 6.3.6 Características estructurales de los generadores. | 293 |
| 6.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR. | 301 |
| 6.5 MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA. | 305 |
| 6.5.1 Características generales. | 305 |
| 6.5.2 Reacción de armadura. | 307 |
| 6.5.3 Eficiencia y potencia del motor de c.d. | 309 |
| 6.5.4 Fuerza contraelectromotriz. | 310 |
| 6.5.5 Clasificación de los motores de c.d. | 312 |
| 6.5.6 Características estructurales. | 319 |
| 6.6 MANTENIMIENTO DE MOTORES Y GENERADORES DE C.D. | 319 |
| 6.7 ARRANQUE Y MANIOBRA DE MOTORES DE C.D. | 322 |
| 6.7.1 Combinadores manuales. | 323 |
| 6.7.2 Disyuntores y relevadores de sobrecarga. | 326 |

| | |
|--|-----|
| 6.7.3 Contactores magnéticos para corriente directa. | 332 |
| 6.7.4 Arrancadores magnéticos para conexión a pleno voltaje. | 334 |
| 6.7.5 Arrancadores para conexión a voltaje reducido. | 335 |

CAPITULO 7 GENERADORES Y MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.

| | |
|--|-----|
| 7.1 GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA. | 337 |
| 7.1.1 Generalidades. | 337 |
| 7.1.2 Tipos de alternadores. | 338 |
| 7.1.3 Alternadores de armadura giratoria. | 340 |
| 7.1.4 Alternadores de campo giratorio. | 342 |
| 7.1.5 Características de funcionamiento de los alternadores. | 343 |
| 7.1.6 Alternadores monofásicos. | 345 |
| 7.1.7 Alternadores trifásicos. | 346 |
| 7.1.8 Características estructurales de los alternadores. | 351 |
| 7.1.9 Clasificación de los alternadores. | 354 |
| 7.2 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA. | 354 |
| 7.2.1 El campo magnético giratorio. | 355 |
| 7.3 MOTORES POLIFASICOS DE CORRIENTE ALTERNA. | 359 |
| 7.3.1 Motores polifásicos síncronos. | 359 |
| 7.3.2 Motores polifásicos de inducción. | 363 |
| 7.4 MOTORES MONOFASICOS DE C.A. | 373 |
| 7.4.1 Motor de fase partida. | 374 |
| 7.4.2 Motor con capacitor. | 375 |
| 7.4.3 Motor de polo fantasma. | 378 |
| 7.4.4 Motor de reluctancia. | 380 |
| 7.4.5 Motor de histéresis. | 381 |
| 7.4.6 Motor de repulsión. | 383 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 7.4.7 El motor universal. | 387 |
| 7.5 DISPOSITIVOS DE CONTROL. | 388 |

CAPITULO 8 PRINCIPIOS DE LA GENERACION Y DISTRIBUCION DE-
LA ENERGIA ELECTRICA.

| | |
|---|-----|
| 8.1 INTRODUCCION. | 395 |
| 8.2 CENTRALES ELECTRICAS. | 396 |
| 8.2.1 Centrales heliotérmicas. | 397 |
| 8.2.2 Centrales eólicas. | 398 |
| 8.2.3 Centrales nucleares. | 400 |
| 8.2.4 Centrales hidroeléctricas. | 403 |
| 8.2.5 Centrales termoeléctricas. | 406 |
| 8.3 SUBESTACIONES. | 412 |
| 8.3.1 Definición y tipos de subestaciones. | 414 |
| 8.3.2 Elementos de una subestación | 415 |
| 8.3.3 Diagramas unifilares. | 452 |
| 8.4 LINEAS DE TRANSMISION. | 455 |
| 8.4.1 Elementos de las líneas de transmisión. | 455 |
| 8.4.2 Características de las líneas. | 464 |
| 8.5 REDES DE DISTRIBUCION. | 466 |
| 8.5.1 Generalidades. | 466 |
| 8.5.2 Líneas aéreas. | 467 |
| 8.5.3 Líneas subterráneas. | 477 |
| 8.6 ACOMETIDAS. | 483 |

CAPITULO 9 ALUMBRADO.

| | |
|--|-----|
| 9.1 PRINCIPIOS Y UNIDADES. | 487 |
| 9.1.1 Fotometría. | 495 |
| 9.1.2 Curvas de distribución. | 500 |
| 9.2 PUENTES DE LUZ ELECTRICA. CLASIFICACION. | 501 |
| 9.3 LAMPARAS INCANDESCENTES. | 503 |
| 9.4 LAMPARAS DE ARCO DE DESCARGA. | 517 |
| 9.4.1 Lámparas fluorescentes. | 518 |
| 9.4.2 Lámparas de alta intensidad de descarga. | 526 |
| 9.5 LAMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA E INFRARROJA. | 529 |
| 9.5.1 Lámparas de luz ultravioleta. | 529 |
| 9.5.2 Lámparas de rayos infrarrojos. | 534 |
| 9.6 LUMINARIAS. | 535 |
| 9.6.1 Tipos de luminarias. | 536 |
| 9.7 INTRODUCCION AL PROYECTO DE INSTALACIONES DE ALUMBRA-- DO. | 549 |
| 9.7.1 Requerimientos para una iluminación satisfactoria. | 549 |
| 9.7.2 Consideraciones en el proyecto de una instalación de alumbrado. | 550 |
| 9.7.3 Niveles de iluminación. | 554 |
| 9.7.4 Metodos de iluminación. | 557 |
| 9.7.5 Cálculo de una instalación de alumbrado. | 561 |
| CONCLUSIONES. | 566 |
| BIBLIOGRAFIA. | 588 |

INTRODUCCION

INTRODUCCION

México, país a últimas fechas hundido en una crisis económica de gran magnitud, necesita en estos momentos de profesionales técnicos capaces y bien preparados que con su trabajo y esfuerzo ayuden a acelerar un desarrollo industrial necesario en nuestra patria.

Criterios como el anterior son esgrimidos actualmente -- por las partes responsables del proceso educativo, incluidos organismos tales como la Secretaría de Educación Pública y la Universidad Nacional Autónoma de México. Esa es la razón por la cual el auge y la promoción de las carreras técnicas es decisivo en el momento actual.

Ejemplo de lo anteriormente expuesto ha sido la creación de las llamadas escuelas preparatorias técnicas en las cuales, el alumno, además de obtener al finalizar sus estudios correspondientes un certificado que avale los mismos, egresa capacitado como profesional técnico en alguna especialidad acorde con el área elegida de antemano.

Este trabajo de tesis está dirigido al estudiante de bachillerato área físico-matemáticas y que simultáneamente con su bachillerato, adquirirá al terminar el mismo, el título de técnico electricista. No se trata pues, del técnico promedio en la actualidad, el cual, por lo regular, sólo llega a cursar estudios de secundaria, siendo éste un inconveniente, ya que gran parte de la teoría relacionada con esta carrera tiene bases matemáticas de cierta profundidad.

Al estar el estudiante llevando a la par cursos de matemáticas de nivel bachillerato, algunos de los capítulos ba san su comprensión en el manejo de la trigonometría, el álgebra y los vectores.

Basándome en los planes de estudio correspondientes a la Secretaría de Educación Pública, intento en este trabajo - proporcionar un sustento lo suficientemente completo para que el estudiante obtenga, de una manera accesible, la información teórica de su carrera durante los tres años que dure la misma.

Es necesario hacer la aclaración de que la parte práctica es tan importante como la teórica, dejando dicha responsabilidad a los encargados directos de la formación del -- técnico: los profesores y el plantel. La práctica pues, de penderá de la experiencia del profesorado y de los recur-- sos con los cuales cuente el plantel. Recomiendo, de una manera especial, las visitas a fábricas, subestaciones y -- centrales eléctricas disponibles en la localidad.

Espero que este trabajo sirva a no pocos estudiantes, -- los cuales, en un futuro no muy lejano, ejercerán su carrera, o en su defecto, ingresarán a las universidades a continuar sus estudios en alguna de las carreras de ingenie-- ría, siendo este trabajo un sustento confiable para abor-- dar estudios más profundos sobre el mismo.

Si para esos futuros ingenieros y técnicos, este trabajo les es de utilidad durante su proceso educativo y les ayuda a egresar mejor preparados, su aportación al desarrollo del país será decisiva.

Deseo, sinceramente, al poner mi mejor esfuerzo en la elaboración de esta "Guía teórica del técnico electricista" colaborar un poco en el progreso de México.

CAPITULO 1

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

1.1 ELECTROMAGNETISMO. ANTECEDENTES HISTORICOS.

El estudio de la electricidad y el magnetismo data de varios siglos antes de nuestra era, y estas dos ciencias siguieron caminos distintos hasta que un físico danés descubrió la relación existente entre ambas.

Las primeras referencias las encontramos en los escritos del filósofo griego Tales de Mileto, el cual, en el año -- 600 a.c., observó que el ámbar (en griego, *elektron*), tenía la propiedad de atraer pedacitos de paja y plumas después de frotarlo, y que además, una piedra encontrada en la región de Magnesia en el Asia Menor y llamada magnetita era capaz de atraer pedacitos de hierro.

Se sabe que los chinos dieron la primera aplicación práctica a dichas piedras, llamadas imanes, y así encontramos que a ese pueblo se le atribuye la invención de la brújula, la cual consistía en un pedazo de imán suspendido de un hilo y cuyos extremos llamados polos apuntaban siempre en la dirección del norte y sur de la Tierra respectivamente.

Los primeros estudios científicos con imanes fueron hechos por un cruzado francés llamado Pedro Peregrinus de Maricourt, el cual en 1269 reunió todos sus experimentos en un manuscrito titulado "De Magnete", mismo que tuvo una difusión muy pobre ya que la imprenta no se había inventado aún.

Fue Sir William Gilbert, médico de la corte de la reina Isabel, quien en el año de 1600 publicó los resultados de

numerosos experimentos realizados con imanes y cuerpos electrizados, siendo estos últimos los que iniciaron la era de la electrostática o de la electricidad en reposo, misma que duró aproximadamente dos siglos hasta que en año de -- 1799 Alessandro Volta desarrolló un dispositivo capaz de -- producir grandes cantidades de electricidad en movimiento, y que en su honor se llamó pila voltaica.

No hay que pasar por alto a un gran científico que en el año de 1785 realizó unos experimentos electrostáticos que por primera vez dieron medidas cuantitativas de fenómenos eléctricos y también magnéticos. Hablamos de Carlos Agustín de Coulomb, coronel del ejército francés y destacado físico, el cual, ayudado por un dispositivo de su invención llamado balanza de torsión, midió por vez primera la repulsión y atracción existente entre cuerpos cargados eléctricamente. Estos resultados se resumen en la Ley de -- Coulomb.

El año de 1820 marcó la unión definitiva de la electricidad y el magnetismo cuando el físico danés Hans Cristian Oersted descubrió que la aguja de una brújula era desviada al acercárcele un alambre por el cual circulaba una corriente eléctrica. En otras palabras, demostró que una alambre por el cual circula una corriente eléctrica tiene u asociado un campo magnético en sus alrededores.

La publicación hecha por Oersted de su descubrimiento -- llamó la atención de no pocos científicos que repitieron y ahondaron aún más en esos estudios. Figuran entre ellos -- André Marie Ampere, en Francia, y Michael Faraday, en Inglaterra.

Especialmente importantes fueron los estudios de este ú timo, ya que demostró que a partir del magnetismo se podía

obtener electricidad. Este es el principio de funcionamiento de todos los generadores de electricidad, aunque cabe decir que dichos estudios también fueron realizados al mismo tiempo, pero en forma separada, por el físico norteamericano Joseph Henry.

A tales hombres y a muchos más, debemos los adelantos tecnológicos y científicos de la actualidad y que han permitido al hombre explorar y conocer caminos nunca antes imaginados.

1.2 LA CARGA ELECTRICA.

Iniciamos nuestro estudio con el concepto de lo que es la carga eléctrica y la diferencia entre ésta y un objeto cargado eléctricamente.

La carga eléctrica es una propiedad inherente de la materia, es decir, la materia por el hecho de existir posee carga eléctrica así como también tiene masa y ocupa un lugar en el espacio.

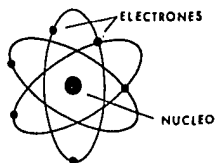
Analizando la parte más pequeña en que podemos dividir la materia, nos encontramos con los átomos y sus componentes.

Un átomo tiene un núcleo y unas partículas llamadas electrones que giran alrededor de él. En el núcleo se encuentran unidos los protones y los neutrones.

Ahora bien, los electrones poseen carga negativa y los protones positiva. La magnitud de dichas cargas es la misma, diferenciándose únicamente por el signo. Los neutrones carecen de carga eléctrica. A partir de eso, un átomo en su estado natural tiene una carga eléctrica neta igual a cero, ya que el número de electrones que tiene es igual al

número de protones contenidos en su núcleo.

FIGURA 1. MODELO DE UN ATOMO



Cabe hacer la aclaración de que es posible que un átomo, al estar interactuando con otros, pueda en un momento dado ver alterado el número de electrones que tiene, existiendo la posibilidad de ganar o perder un número determinado de estos.

Cuando un objeto tiene un exceso o faltante en el número de electrones que posee, se dice que está cargado eléctricamente. Adquirirá una carga positiva si le faltan electrones y negativa si le sobran. Esto es fácil de entender ya que en un instante dado existen un número mayor de cargas negativas que de positivas y viceversa, ya que la carga de un electrón es en magnitud igual a la del protón.

Las unidades en que medimos la carga eléctrica son los Coulombs y el símbolo con que representamos la carga es una letra Q.

En 1785, el físico francés Carlos Agustín de Coulomb resumió en una ley que lleva su nombre, las características y los factores de que depende la fuerza existente entre objetos cargados eléctricamente.

Dos cuerpos cargados y separados una distancia cualesquiera, experimentan una fuerza que puede ser de dos tipos: atracción o repulsión.

Si las cargas son iguales, la fuerza será de repulsión y

si son de diferente signo, la fuerza será de atracción. La magnitud de la fuerza depende de la cantidad de carga que tengan los objetos y de la distancia que los separe. A mayor carga eléctrica, mayor fuerza. A mayor distancia de separación, menor fuerza.

1.3 CAMPO ELECTRICO Y POTENCIAL.

Se dice que el espacio que rodea a un objeto cargado es el asiento de un campo eléctrico y que éste se manifiesta en la fuerza que experimentaría cualquier objeto cargado - que esté en dicha porción de espacio.

Existe una analogía casi perfecta con el campo gravitacional de la Tierra. La Tierra, por el hecho de poseer masa, tiene en el espacio que la rodea un campo llamado campo gravitacional, el cual se manifiesta cuando otra masa, cualquiera, está en dicho espacio que rodea a la Tierra y experimenta una fuerza de atracción. En el caso del campo eléctrico sucede casi lo mismo con la diferencia de que el objeto cargado puede experimentar una fuerza de atracción o de repulsión, dependiendo del signo de su carga. En el caso del campo gravitacional, la fuerza siempre es de atracción.

Es una valiosísima ayuda la representación del campo eléctrico por medio de las llamadas líneas de fuerza, ya que estas permiten visualizar la actividad eléctrica que tiene lugar en el espacio que rodea a una o varias cargas.

Dichas líneas son imaginarias y cumplen con ciertos requisitos que son los siguientes:

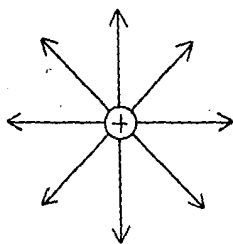
- a. Salen de las cargas positivas y entran a las negati--

vas.

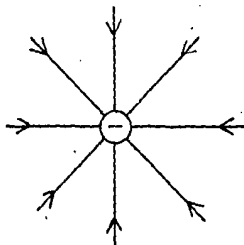
b. Nunca se cruzan.

c. Son proporcionales a la magnitud del campo. Un campo más intenso se representaría con un número mayor de líneas que uno de menor intensidad.

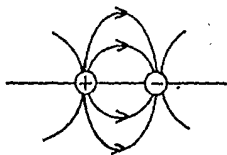
Las figuras mostradas a continuación muestran las líneas de fuerza para una carga positiva, una carga negativa, una carga positiva y una negativa, y dos cargas positivas.



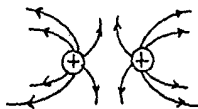
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 2 ESQUEMAS DE CAMPO ELECTRICO

Para reafirmar un poco más la idea de campo eléctrico, - podemos enumerar las siguientes características del mismo:

a. Todo cuerpo cargado está rodeado por un campo eléctrico.

b. Un campo eléctrico es más intenso cerca del cuerpo -- cargado que lo produce. Al alejarnos, la intensidad disminuye.

c. La dirección y sentido del campo es la dirección y -- sentido de la fuerza que produce sobre una carga positiva.

Ahora bien, sabemos que existen dos tipos de cantidades, matemáticamente hablando: escalares y vectoriales. Un escalar es una cantidad a la cual sólo le podemos asociar una magnitud. La temperatura y el tiempo son dos ejemplos de - cantidades escalares. Los vectores, son cantidades a las - cuales además de asociarles una magnitud les asociamos una dirección y un sentido. Ejemplos de vectores son la fuerza y la velocidad. En el caso de la fuerza medimos la magni-- tud en Newtons, pero también debemos asociar la dirección- y el sentido en el cual se moverá el cuerpo sobre el cual- se aplica dicha fuerza.

Existe una cantidad escalar íntimamente relacionada con- el campo eléctrico: el potencial. La existencia de éste de pende de la existencia del campo.

A cualquier punto que se encuentre en la región del espacio en donde exista un campo eléctrico, puede asociarsele- una y solo una cantidad escalar llamada potencial eléctri-co. La unidad empleada para designar el potencial recibe - el nombre de voltio y es equivalente a un joule, unidad de trabajo, dividido entre un coulomb, unidad de carga.

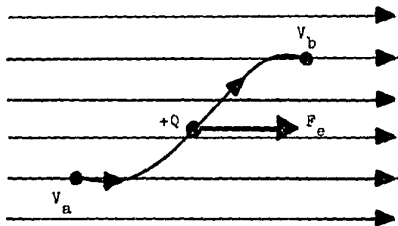
Si tomamos un par de puntos cualesquiera a y b, los cua- les se encuentren inmersos en un campo eléctrico, y llama- mos V_a al potencial en el punto a, y V_b al potencial en el punto b; definimos la diferencia de potencial $V_b - V_a$ como el trabajo realizado para trasladar una carga del punto a al punto b, dividido por la cantidad de carga transporta--

da:

$$V_b - V_a \text{ (voltios)} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{Carga transportada}}$$

La figura 3 nos muestra las líneas de fuerza de un campo eléctrico y la ubicación de dos puntos cualesquiera a y b. Es necesario, para trasladar una carga del punto a al punto b, ejercer una fuerza sobre dicho objeto para contrarrestar la fuerza eléctrica F_e que obra sobre el objeto de bida al campo, a lo largo de toda la trayectoria ab. Al aplicar una fuerza a lo largo de una trayectoria, se realiza un trabajo, el cual puede ser positivo, negativo o cero. Este trabajo realizado dividido entre la cantidad de carga transportada, nos dá el valor en voltios de la diferencia de potencial.

FIGURA 3



F_e = Fuerza debida al campo

V_b mayor que V_a

Debido a las características del campo eléctrico, la trayectoria seguida para ir del punto a al punto b no influye en lo absoluto. Sea cual fuere la trayectoria, el trabajo-

realizado siempre será el mismo. En base a este hecho, se dice que el campo eléctrico es un campo conservativo, o sea, un campo en el cual la trayectoria seguida de un punto a otro, al aplicar una fuerza, nos dá como resultado la misma cantidad de trabajo.

Cabe hacer la aclaración que a la diferencia de potencial entre dos puntos con frecuencia se le llama voltaje o tensión.

1.4 CONDUCTORES, AISLADORES Y SEMICONDUCTORES.

Desde el punto de vista eléctrico, todos los materiales los podemos agrupar en dos categorías: conductores y aisladores, también llamados dieléctricos.

Los conductores, como su nombre lo indica, conducen con facilidad la electricidad, ya que debido a su estructura, algunos electrones de la última órbita de sus átomos están en libertad de movimiento y pueden estar pasando de un átomo a otro sin dificultad. Esos electrones en movimiento constante son llamados electrones libres y son los que en un instante dado se responsabilizan del proceso de la conducción, el cual estudiaremos más adelante. Ejemplos de materiales conductores son el oro, cobre, plata, aluminio, níquel y algunas aleaciones hechas con ellos como lo son el nicromo y la manganina.

Por su parte, los aisladores o dieléctricos, a veces llamados también no conductores, son materiales que de acuerdo a su estructura tienen sus electrones rígidamente unidos a sus átomos, por lo cual el proceso de la conducción no llega a realizarse como en el caso de los conductores.

Existe, sin embargo, una tercera categoría: la de los --

llamados semiconductores, los cuales poseen una estructura tal que bajo determinadas condiciones actúan como conductores y en otras como aislantes. Ejemplos de materiales semiconductores lo son el silicio y el germanio, los cuales -- son usados en la mayoría de los dispositivos electrónicos-- que se emplean en la actualidad y cuyo estudio está a cargo de la física de los semiconductores.

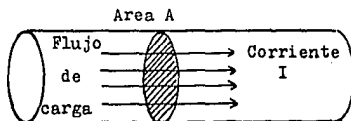
Posteriormente abordaremos nuevamente este tema, pero teniendo en cuenta una propiedad de los materiales llamada --resistencia.

1.5 CORRIENTE Y RESISTENCIA.

Los electrones libres en un conductor se encuentran en --movimiento constante, mas sin embargo, no tienen una dirección definida a lo largo del mismo.

Una batería es un dispositivo que mantiene una diferen--cia de potencial constante entre sus terminales. Si conectamos una batería a los extremos de un alambre, se establece un campo eléctrico en todos los puntos del alambre. Este campo actúa sobre los electrones dándoles un movimiento neto hacia uno de los extremos del alambre; el de mayor potencial. Decimos, entonces, que circula una corriente eléctrica por el alambre.

FIGURA 4



La corriente I en el conductor se define como la cantidad de carga en movimiento que pasa por una sección transversal fija perpendicular al conductor en la unidad de tiempo. Si la corriente es constante, entonces:

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{Corriente} = \frac{\text{Carga}}{\text{tiempo}} = \text{Amperes}$$

De lo anterior, tenemos que la unidad de corriente es el coulomb por segundo, conocida como ampere.

La corriente I es la misma para todas las secciones transversales del conductor, aún cuando el área de la sección pueda ser distinta en diferentes puntos. Esta invariabilidad de la corriente eléctrica se basa en el hecho de que la carga debe conservarse, o sea, ni se acumula continuamente en ningún punto del conductor ni se pierde continuamente en ningún punto.

Aún cuando en los metales los portadores de carga son los electrones, en algunas sustancias llamadas electrolitos o en los conductores gaseosos, los portadores de carga pueden ser iones positivos o negativos o ambos en un instante dado. Recuérdese que un ión es un átomo cargado eléctricamente el cual le faltan o le sobran electrones. Es necesario pues, adoptar una convención para asignar las direcciones de las corrientes que tendrían lugar en el caso de tener portadores de carga de los dos signos. Una carga positiva que se mueve en una dirección es equivalente, para casi todos los efectos externos, a una carga negativa que se mueve en dirección opuesta. Por lo tanto, por simplicidad y para establecer una uniformidad adecuada, suponemos que todos los portadores de carga son positivos y se

y se dibujan las flechas que indican la dirección de la corriente en el sentido en que se moverían tales cargas. --- Cuando se habla de este tipo de corriente se le nombra corriente convencional y cuando es necesario tomar el sentido de los electrones, que son los que en realidad se mueven en un alambre, por poner un ejemplo, se le denomina corriente real.

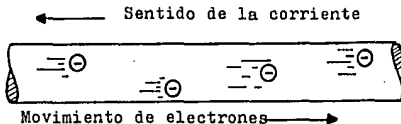


FIGURA 5. SENTIDO DE LA CORRIENTE CONVENCIONAL EN FUNCION DEL MOVIMIENTO DE ELECTRONES EN UN CONDUCTOR.

Por otro lado, si aplicamos la misma diferencia de potencial a los extremos de una barra de cobre y una barra de algún otro material, se producen corrientes diferentes. La característica que interviene en esta diferencia, de la cual es responsable, se le llama resistencia.

Se define la resistencia de un material entre dos puntos aplicando una diferencia de potencial V entre esos puntos, midiendo la corriente I , y dividiendo:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Resistencia} = \frac{\text{voltaje}}{\text{corriente}} = \text{Ohms}$$

Si V está en voltios e I en amperes, la resistencia estará en ohms, cuyo símbolo es Ω .

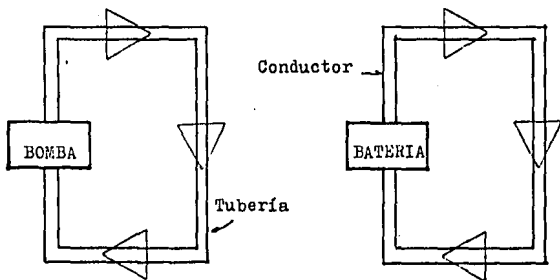
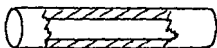


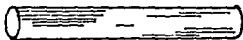
FIGURA 6. LA CORRIENTE QUE CIRCULA POR EL CONDUCTOR, ES ANALOGA AL FLUJO DE AGUA EN LA TUBERÍA.

El flujo de carga a través de un conductor, es decir, la corriente que circula por él, es a menudo comparada con el flujo de agua a través de un tubo, el cual es producido -- por una diferencia de presión entre los extremos del tubo. La diferencia de presión puede ser establecida por una bomba. Esta diferencia de presión es análoga a la diferencia de potencial que se establece en los extremos de un alambre mediante una batería. El flujo de agua se compara con la corriente, la cual es un flujo de cargas. La rapidez -- con la cual fluye el agua para una diferencia de presión dada, depende de la naturaleza del tubo: si es largo o corto, si es ancho o es angosto, si está vacío o lleno de algo, por ejemplo, tierra. Esas características del tubo son análogas a la resistencia del conductor, la cual dependerá de su longitud, del área de su sección transversal y del material del cual se trate.

La figura 7 muestra más claramente las analogías hidráulicas de la resistencia de un conductor.



Una tubería de agua con superficie interior pulida, puede ser comparada con un conductor de baja resistencia.



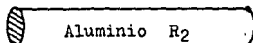
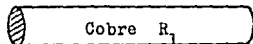
Una tubería de agua con superficie interior áspera e irregular, puede ser comparada con un conductor de alta resistencia.

FIGURA 7

Lo anterior nos lleva a la relación siguiente, válida para cualquier conductor de longitud L y de sección transversal de área A :

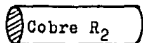
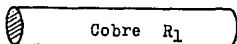
$$R = \frac{L}{A} \quad \text{Resistencia} = \text{Resistividad} \left(\frac{\text{Longitud}}{\text{Area}} \right)$$

En donde R es una característica del material utilizado y recibe el nombre de resistividad. Sus unidades son los ohm-metro y su valor cambia de acuerdo al material utilizado. En casi todos los libros de física se encuentran tablas con los valores de la resistividad para diferentes materiales. Las ilustraciones mostradas a continuación ayudarán a comprender mejor lo anterior.



$$R_1 \neq R_2$$

(a) Materiales conductores diferentes pero de las mismas dimensiones.



$$R_1 \neq R_2$$

(b) Materiales conductores iguales pero de longitudes diferentes.

FIGURA 8

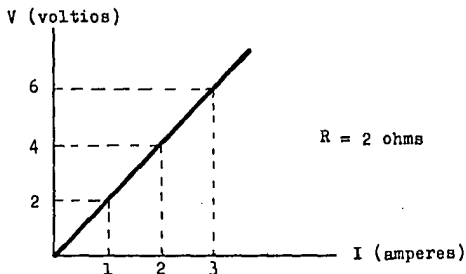
En la figura 8a se muestran dos barras de materiales conductores diferentes pero de idénticas dimensiones. Como -- sus resistividades son distintas, entonces sus resisten-- cias también lo son. En la figura 8b se muestran dos ba---rras del mismo conductor pero diferentes en longitud. Sus secciones de área y su resistividad no cambian, más sin em bargo, las resistencias no son iguales por ser sus longitu des diferentes.

El valor de la resistencia de un conductor sufre varia-- ciones con la temperatura, pudiendo aumentar o disminuir - su valor con un aumento en la temperatura del conductor. - En la mayoría de los casos las variaciones de la resisten-- cia con la temperatura son tan pequeñas que es posible ig-- norarlas.

Podemos, tomando en cuenta lo visto anteriormente, decir que los conductores son materiales cuya resistencia es lo suficientemente baja como para permitir el paso de la co-- rriente eléctrica a través de ellos cuando se aplica una - diferencia de potencial; y que los aislantes son aquellos - materiales cuya resistencia es lo suficientemente grande - como para no permitir el paso de la corriente eléctrica a-- través de ellos.

1.5.1 La Ley de Ohm.

Si aplicamos una diferencia de potencial V a los extremos de una barra de un conductor cualquiera cuya resistencia sea R , y medimos la corriente I que circula por él para distintos valores de V , podemos elaborar una gráfica de V contra I , teniendo como resultado lo siguiente:



De lo anterior observamos que la relación entre la diferencia de potencial o voltaje aplicado V y la corriente -- que circula I , es una relación lineal. Una forma matemática de expresar el resultado sería:

$$V = IR$$

En donde R es una constante. Al variar V varía I en la misma proporción. La anterior es la ecuación de una recta y es una de las formas de expresar la llamada ley de Ohm, la cual no solo se reduce a una ecuación, sino que su significado es más profundo.

Decimos que un conductor cumple con la ley de Ohm cuando

la relación entre el voltaje aplicado y la corriente que circula es lineal, o sea, que la resistencia del conductor permanece constante y un aumento en el voltaje aplicado -- trae como consecuencia un aumento en la corriente circulante. De la misma forma, una disminución en dicho voltaje -- produce una disminución en la corriente. A los conductores que cumplen con esta ley se les denomina conductores óhmicos.

1.5.2 El efecto Joule.

Si por un conductor de resistencia R circula una corriente al ser aplicado un voltaje, el conductor sufre un calentamiento debido a los choques que internamente tienen los electrones entre sí y con los átomos que forman la estructura del conductor. Este calentamiento es irreversible. Esto quiere decir que si calentamos el conductor no circulará una corriente debido a ese calentamiento, pero si hacemos circular una corriente por el conductor, esto traerá -- siempre un calentamiento como consecuencia. Esta propiedad de los conductores es muy utilizada para la producción de calor a partir de la electricidad y recibe el nombre de calentamiento por efecto Joule.

Podemos cuantificar el calentamiento en cualquier conductor conociendo la resistencia del mismo y el voltaje aplicado o corriente que circula por él. Existe una transformación de energía en este proceso. La energía eléctrica proporcionada por la fuente se transforma en energía calorífica en el conductor. La rapidez con la cual se calienta, o sea, la energía calorífica por unidad de tiempo, recibe el

nombre de potencia disipada en el conductor la cual es suministrada por la fuente e igual al producto IV . Utilizando la ley de Ohm y efectuando algunas sustituciones, tenemos que:

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

P = Potencia disipada en vatios.

I = Corriente circulante por el conductor

V = Voltaje aplicado al conductor

La unidades de la potencia son los vatios cuando la corriente está en amperes, la resistencia en ohms y el voltaje en voltios.

De lo anterior deducimos que a mayor corriente circulando por el conductor habrá un mayor calentamiento y a menor corriente, menor calentamiento.

1.6 MAGNETISMO.

Abandonaremos de momento el estudio de la electricidad para estudiar una parte de la física llamada magnetismo, la cual está íntimamente relacionada con los fenómenos eléctricos.

Desde tiempos antiguos se conocen ciertos materiales llamados imanes, los cuales tienen la propiedad de atraer trozos de hierro colocados en su proximidad. La primera aplicación práctica dada a los imanes fue en la construcción de brújulas, ya que un imán suspendido siempre orienta uno de sus extremos hacia el polo norte de la tierra.

Los primeros imanes encontrados y utilizados eran pedazos de una piedra llamada magnetita, un óxido de hierro. -- Con el transcurso del tiempo se observó que era posible -- magnetizar ciertos materiales. A los imanes así obtenidos se les dió el nombre de imanes artificiales.

Dividimos a los materiales de acuerdo a sus propiedades magnéticas, de la siguiente manera:

a. Materiales ferromagnéticos: son todos aquellos que -- son fuertemente atraídos por un imán. Como ejemplos tenemos el hierro, el níquel y el cobalto.

b. Materiales paramagnéticos: son aquellos, incluyendo -- los ferromagnéticos, que son atraídos por un imán, ya sea en forma débil o intensa. Algunos ejemplos de materiales -- débilmente paramagnéticos son el aluminio y el platino.

c. Materiales diamagnéticos: son los materiales que al a cercárseles un imán, siempre son rechazados por él. Ejem-- plos de materiales diamagnéticos son el bismuto, el antimo nio y el oro.

Como no todos los materiales que se pueden magnetizar ar tificialmente mantienen su magnetismo durante un largo --- tiempo, es común hablar de imanes permanentes e imanes tem porales.

Los extremos de un imán reciben el nombre de polos y se llama polo norte de un imán a aquél que al ser suspendido el imán, se orienta hacia el norte de la tierra.

Existe una propiedad característica de los imanes: su na turaleza dipolar. Si tomamos un imán de barra y lo parti-- mos a la mitad, cada una de las mitades tendrá un polo nor te y un polo sur. Si esas mitades las partiéramos nuevamen te, aparecerán también en cada fragmento un norte y un sur

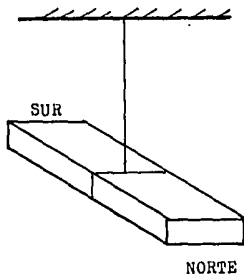
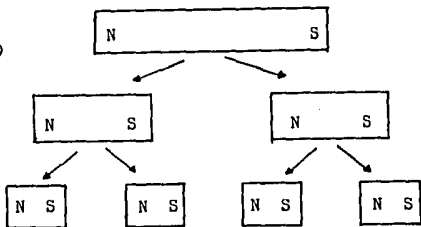


FIGURA 9 :

y así sucesivamente. Es pues, una propiedad de los imanes- el presentarse siempre en forma de dipolos. En la actualidad no ha sido posible todavía aislar un polo magnético.

FIGURA 10



Desde el punto de vista atómico, nos podemos imaginar a- un material magnético como un conjunto de pequeños dipolos los cuales aparecen en forma desordenada.

Cuando los dipolos están de manera alineada y estable, - esto quiere decir, que no se desalinean fácilmente, tene- mos un imán de los llamados permanentes. Cuando los dipo- los aparecen en forma desordenada, es posible alinearlos, - aunque en algunos materiales dicha alineación es inestable

y al poco tiempo los dipolos tienden a desalinearse. Esa es la causa de que existan imanes temporales.



Material magnético con sus dipolos en desorden

Material magnético con sus dipolos ordenados.

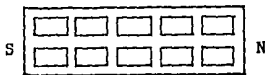


FIGURA 11. SI PROVOCAMOS LA ALINEACION ORDENADA DE LOS DIPOLOS DE UN MATERIAL MAGNETICO, DICHO MATERIAL SEHA MAGNETIZADO.

De lo anterior, decimos que magnetizar un material es -- provocar por medios externos esa alineación de los pequeños dipolos, así como desmagnetizar un material es desalinear dichos dipolos.

Existen formas tanto de magnetizar como de desmagnetizar un material. Algunos medios utilizados para ambos propósitos son el calor y la electricidad.

Si a un imán suspendido le acercamos otro imán, éste sufrirá una fuerza que puede ser de atracción o de repulsión. La fuerza será de atracción si los polos acercados son diferentes. Si los polos son iguales, la fuerza será de repulsión.

Lo anterior se asemeja a la fuerza de atracción o repulsión entre dos objetos cargados eléctricamente, pero se trata, definitivamente, de fenómenos distintos. Por un lado tenemos una fuerza de origen magnético, y por otro, una fuerza de origen eléctrico.

La fuerza de atracción o de repulsión entre polos depende de la magnitud de los mismos y es inversamente propor--

cional al cuadrado de la distancia que los separa. A menor distancia, mayor fuerza. A mayor intensidad de los polos, - mayor fuerza.

1.7 EL CAMPO MAGNETICO.

El campo magnético es un concepto análogo al de campo eléctrico. Decimos que el espacio que rodea a un imán es el asiento de un campo magnético B , el cual se manifiesta por la fuerza que experimentaría un imán de prueba, pequeño, - al acercarse a dicho espacio. La fuerza, como ya lo comentamos, puede ser de atracción o de repulsión.

De la misma forma que utilizamos líneas de fuerza para imaginarnos el campo eléctrico, podemos utilizar también -- líneas de fuerza magnética para poder imaginarnos el campo magnético. Dichas líneas son imaginarias, mas sin embargo,

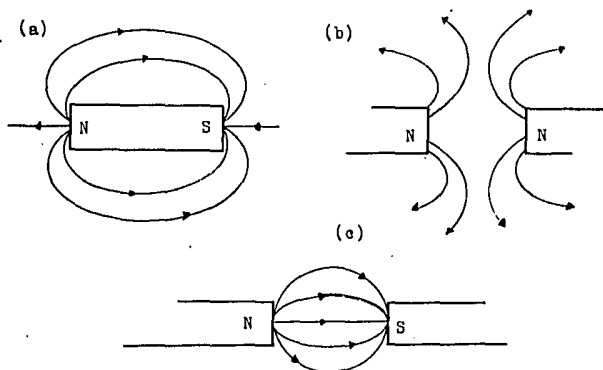


FIGURA 12. LINEAS DE FUERZA MAGNETICA PARA (a) UN IMAN AISLADO, (b) POLOS IGUALES CERCANOS, Y (c) POLOS DIFERENTES CERCANOS.

nos dan una idea de la actividad magnética que tiene lugar en el espacio en donde existe el campo.

Las características de las líneas de fuerza magnética -- son las siguientes:

a. Siempre salen de un polo norte y entran a un polo --- sur.

b. Nunca se cruzan.

c. Son proporcionales a la intensidad del campo. En donde están mas unidas, el campo es más intenso que en donde están más separadas.

La figura 12 nos muestra las líneas de fuerza para tres-casos diferentes.

1.8 PROPIEDADES MAGNETICAS DE LOS MATERIALES.

En los materiales magnéticos son conocidas ciertas pro-- piedades, las cuales vamos a enunciar a continuación.

a. Reluctancia. Es la oposición que ofrece un material - al paso de las líneas de fuerza magnética. Es el análogo - de la resistencia eléctrica en los conductores.

b. Reluctividad. Es la reluctancia por unidad de volumen que posee un material. En los materiales no magnéticos su- valor es 1. Es el equivalente de la resistividad en los -- conductores.

c. Permeancia. Es la capacidad de un material para ser-- vir de soporte a las líneas de fuerza magnética. Su valor- es el recíproco de la reluctancia.

d. Permeabilidad. Es la medida de la facilidad con que - las líneas de fuerza magnética pueden pasar a través de un material. También se puede considerar como la relación en-

tre las líneas de fuerza que pasan a través de un material y las que pasarían a través del aire en las mismas condiciones. Los buenos materiales magnéticos tienen un valor - alto de permeabilidad.

e. Reluctividad. Es la capacidad de un material para re- tener el magnetismo después de retirar la fuerza magneti- zante. Los imanes permanentes tienen un alto grado de re- tentividad y los imanes temporales una baja retentividad.- El magnetismo que queda en el material después de retirar- la fuerza magnetizante se denomina magnetismo remanente.

1.9 CAMPOS MAGNETICOS PRODUCIDOS POR CORRIENTES ELECTRICAS

En el año de 1820, un físico danés, Hans Cristian Oers- ted, realizó un descubrimiento que vino a revolucionar los conocimientos acerca de la electricidad y el magnetismo e- xistentes en aquella época. Descubrió que un alambre por - el cual circula una corriente eléctrica tiene asociado un - campo magnético alrededor del mismo.

Lo anterior se puede visualizar fácilmente con un experi- mento muy sencillo. Tomamos una brújula y enrollamos alam- bre alrededor de ella, el cual conectamos a un interruptor y a una batería tal y como se muestra en la figura 13.

Al conectar el interruptor circula una corriente eléctri- ca por el alambre y la aguja de la brújula, en vez de apun- tar hacia el norte de la tierra, se desviará. Si abrimos - el interruptor, dejará de circular corriente por el alam- bre y la aguja de la brújula regresará a su posición origi- nal, apuntando hacia el norte de la tierra.

Este sencillo experimento realizado por Oersted vino a - probar la existencia de un campo magnético asociado con un

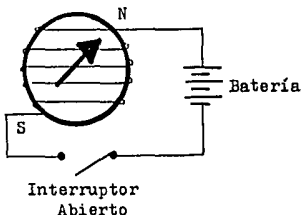
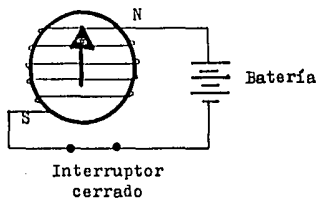


FIGURA 13. EXPERIMENTO DE OERSTED.

alambre por el cual circula corriente eléctrica.

Podríamos preguntarnos qué características tiene el campo magnético y la forma de las líneas de fuerza magnética-existentes alrededor del alambre.

Ambas preguntas pueden ser contestadas utilizando como ejemplo un trozo de alambre recto muy largo por el cual circula una corriente eléctrica.

Por principio de cuentas, se puede observar que el campo magnético es más intenso en las cercanías del alambre, y va disminuyendo conforme nos alejemos del mismo.

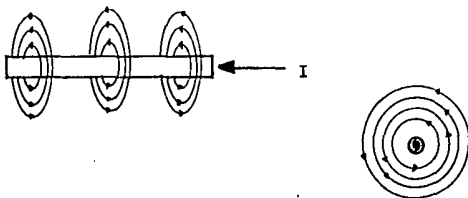


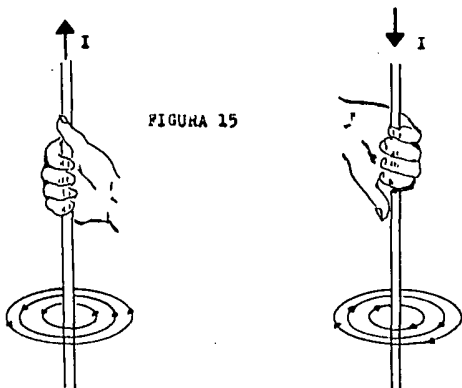
FIGURA 14

Podemos decir también que si circula una corriente mayor por el alambre obtendremos un campo más intenso. Resumiendo lo anterior, diremos que la intensidad del campo magnético es directamente proporcional a la corriente que circula por el alambre e inversamente proporcional a la distancia.

En lo que a las líneas de fuerza magnética se refiere, - éstas forman círculos concéntricos alrededor del alambre - tal y como se puede observar en la figura 14.

Observamos que la dirección de las líneas es en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj. Eso sucede porque la corriente apunta en la dirección señalada en la figura mencionada.

Para encontrar la dirección de las líneas de fuerza en cualquier caso, aplicamos la regla de la mano derecha. Con nuestra mano derecha tomamos el conductor como se muestra en la figura 15. Con el pulgar apuntamos en el sentido de



la corriente, y nuestros dedos nos estarán marcando la dirección de las líneas de fuerza magnética siempre y cuando el sentido de la corriente tomado sea el de la corriente convencional.

1.10 ELECTROIMANES.

Una de las primeras aplicaciones al descubrimiento realizado por Oersted lo fue sin duda la construcción de imanes a partir de la corriente eléctrica, los cuales son llamados electroimanes y su principal ventaja sobre los imanes convencionales radica en que podemos obtener campos de mayor intensidad.

El electroimán más simple es aquel que se construye con un pedazo de alambre y una batería. Al enrollar el alambre formando espiras circulares y conectándolo a una batería, obtenemos un campo magnético cuyas líneas de fuerza se muestran en la figura 16.

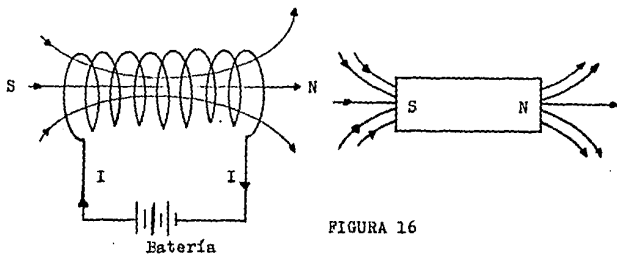


FIGURA 16

Ese electroimán es el equivalente a un imán de barra, el cual tiene la misma configuración de líneas de fuerza, solo que en el imán de barra el campo interno en el material

no se dibuja.

Si ahora tomamos un pedazo de hierro dulce y enrollamos sobre él el alambre, vamos a obtener un campo mucho más intenso. El material magnético sirve como reforzador del campo producido por el electroimán. Lo anterior es debido a que el campo resultante es una suma de dos campos magnéticos.

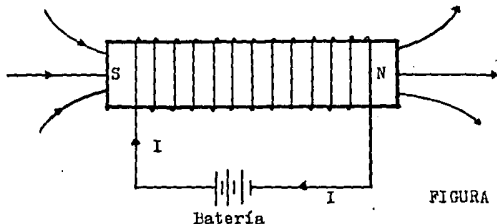


FIGURA 17

Al pedazo de material magnético agregado se le dá el nombre de núcleo y por lo regular es de hierro dulce.

Hasta el momento hemos utilizado una batería para poder hacer circular una corriente eléctrica por el alambre que ha de producir el campo magnético del electroimán. Dicha corriente permanece constante y por esa razón, el campo magnético producido por el electroimán permanece también constante, es decir, no varía con el tiempo.

Podemos utilizar un dispositivo que nos haga circular una corriente variable por el alambre de nuestro electroimán, lo cual daría como resultado que el campo magnético producido esté también variando con respecto al tiempo.

Los electroimanes pueden tener diversas formas y aplicaciones tan variadas que van desde la utilización de los e-

normes electroimanes en los depósitos de chatarra, hasta - los diminutos encontrados en las cabezas de las grabadoras de música.

1.11 FLUJO MAGNETICO A TRAVES DE UNA ESPIRA.

Nos toca ahora analizar un concepto muy importante que - está íntimamente relacionado con la ley de Faraday que veremos posteriormente. Ese concepto es el del flujo magnético y se escogió el caso particular para una espira circular de alambre.

Tratar de definir el flujo es bastante complejo y hasta cierto punto abstracto, mas sin embargo, podemos auxiliarnos de las líneas de fuerza magnética producidas por un imán.

El flujo magnético se representa con la letra griega ϕ y para poder hablar de él, necesitamos forzosamente referirnos a una superficie que bien puede ser la de una espira circular de alambre.

El flujo magnético es una medida proporcional del número de líneas que atraviesan una superficie de referencia y de la superficie en sí. Depende, pues, de la intensidad del campo de que se trate y de la superficie de referencia que hallamos escogido. A mayor intensidad del campo, mayor flujo a través de la superficie. A mayor superficie, mayor -- flujo. Lo anterior puede ser comprendido más fácilmente de la siguiente manera:

Si tenemos dos espiras de alambre idénticas y contamos - con dos imanes diferentes, los campos producidos por los imanes no serán iguales, ya que uno será mayor que el otro, y por lo tanto, gráficamente uno será representado con un-

número mayor de líneas de fuerza magnética que el otro. A continuación, colocamos a la misma distancia de los imanes las dos espiras y observamos que una de las espiras es atravesada por un número mayor de líneas de fuerza magnética, (fig. 18). Decimos, entonces, que el flujo magnético a través de esa espira es mayor que el flujo magnético a través de la otra.

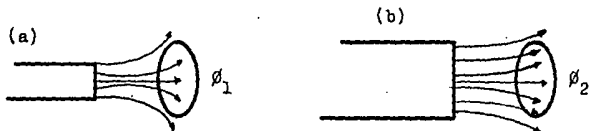


FIGURA 18. EL IMAN EN (a) PRODUCE UN CAMPO MAS DEBIL QUE EL DE (b), Y POR ESA RAZON UN MENOR NUMERO DE LINEAS ATRAVIESAN ESA ESPIRA. EL ϕ_2 ES MAYOR QUE ϕ_1 .

A continuación, tenemos dos imanes idénticos que obviamente producen campos magnéticos de igual intensidad, y dos espiras de alambre de diferente tamaño. Al colocar las espiras a la misma distancia, observamos que la espira mayor es atravesada por un número mayor de líneas de fuerza magnética que la pequeña. Entonces, el flujo a través de la espira más grande es mayor que el flujo a través de la pequeña. (fig. 19).

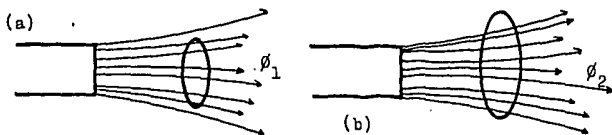


FIGURA 19. LA ESPIRA EN (a) ES ATRAVESADA POR UN NUMERO MENOR DE LINEAS QUE LA ESPIRA EN (b), DEBIDO A QUE TIENEN DISTINTOS TAMAÑOS. EL FUJO ϕ_2 - ES MAYOR QUE ϕ_1 , AUN CUANDO LOS CAMPOS PRODUCIDOS SEAN IGUALES.

1.12 INDUCCION ELECTROMAGNETICA. LEY DE FARADAY.

Ya hemos visto cómo Oersted descubrió que se podía producir magnetismo a partir de la electricidad. Pues bien, una cuestión que inquietó sobremanera a los contemporáneos de Oersted era ver si se podía invertir ese proceso, es decir, producir electricidad a partir del magnetismo. Fue finalmente Michael Faraday quien once años después descubrió que tal cosa era posible bajo ciertas condiciones, y formuló la llamada ley de Faraday, o proceso de inducción electromagnética, que es el principio en el cual se basa actualmente el funcionamiento de todos los generadores de electricidad.

Comprender el proceso de la inducción electromagnética -

no es algo tan difícil como se piensa. Podemos realizar un sencillo experimento utilizando un trozo de alambre conductor, un imán de barra y un instrumento llamado galvanómetro, el cual sirve para registrar si una corriente eléctrica circula por un conductor cualquiera.

Si conectamos los extremos del alambre al galvanómetro y mantenemos el imán fijo cerca del alambre, no circulará corriente alguna por el conductor y la aguja del galvanómetro permanece inmóvil. (fig. 20)

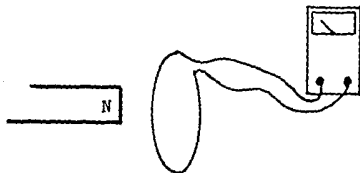


FIGURA 20

Si a continuación alejamos y acercamos el imán del conductor, podremos notar que la aguja del galvanómetro se --

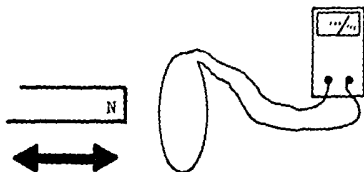


FIGURA 21

Movimiento del imán

mueve, lo cual indica que una corriente eléctrica está circulando por el alambre. (fig. 21)

Si ahora mantenemos fijo el imán y movemos el conductor, obtenemos el mismo efecto que si moviéramos el imán, es decir, la aguja del galvanómetro se mueve indicándonos que una corriente está circulando por el alambre. (fig. 22). Cabe hacer la aclaración de que en ningún momento existe contacto físico entre el imán y el conductor.

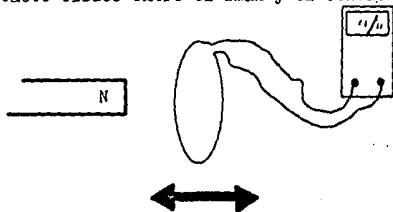


FIGURA 22

Movimiento del conductor

A la corriente que circula por el alambre se le da el nombre de corriente inducida y se debe a que mediante el proceso de la inducción electromagnética aparece en las terminales del alambre una diferencia de potencial llamada fem inducida, la cual produce el movimiento de los electrones por el alambre. El símbolo empleado para la fem inducida es la letra \mathcal{E} .

En general, cuando un conductor es sometido a la influencia de un campo magnético variable, se induce un diferencia de potencial que hará circular una corriente eléctrica a través del conductor.

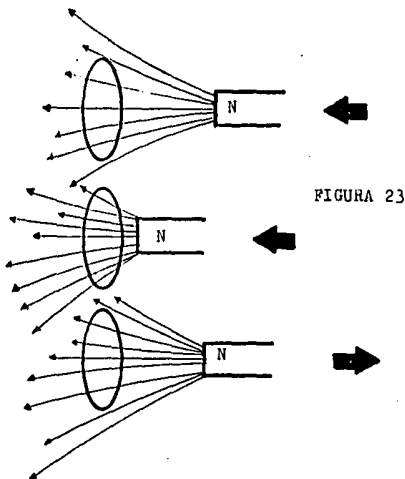
1.12.1 Ley de Faraday.

Hasta el momento hemos visto cómo es posible hacer circu

lar una corriente eléctrica por un conductor a partir del magnetismo. Notamos, también, que ésta se producía solo -- cuando había un movimiento relativo entre el conductor y - el imán, ya fuera que se moviera uno o el otro.

Pues bien, visto de otra manera, tal y como lo imaginó - Faraday, son los cambios en el flujo magnético que atravie sa el conductor lo que produce el fenómeno de la inducción electromagnética. El voltaje inducido, o sea, la diferen-- cia de potencial necesaria para hacer circular la corrien- te eléctrica por el alambre, está en función de los cam--- bios en el flujo magnético que atraviesa el alambre.

Tomando como muestra una espira de alambre, (fig. 23), -



podemos ver cómo, al ir acercando el imán a la espira, au- menta el número de líneas de fuerza magnética que la atra-

viesan, así como también notamos que ese mismo número de líneas disminuye cuando retiramos el imán. Dicho en otras palabras, el acercar y alejar el imán provoca variaciones en el flujo magnético que atraviesa a la espira. La ley de Faraday resume lo anterior y lo expresa de la siguiente manera:

$$e = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

$$\text{Fem inducida} = \frac{\text{variación del flujo magnético}}{\text{tiempo utilizado}}$$

en donde e es el voltaje o fem inducida, en voltios; $\Delta \phi$ son las variaciones en el flujo magnético que atraviesa la espira, y Δt el tiempo que tardan en realizarse dichos cambios.

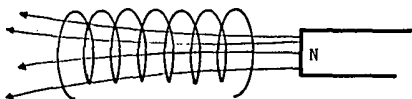


FIGURA 24

Si ahora, en lugar de una espira, tenemos N espiras, la ley de Faraday se expresa:

$$e = N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

Fem inducida = (Número de espiras) $\frac{\text{(Cambios del flujo)}}{\text{(Tiempo utilizado)}}$

lo cual nos está indicando que con solo aumentar el número de espiras, aumentamos el voltaje inducido en el conductor y por consiguiente, la magnitud de la corriente eléctrica que circula por él.

Ahora bien, de la misma ley de Faraday, se deduce que si acercamos y alejamos el imán del conductor o viceversa, -- con mayor rapidez, entonces el voltaje inducido aumenta ya que los cambios en el flujo se realizan en un tiempo menor.

CAPITULO 2

CORRIENTE DIRECTA Y CORRIENTE ALTERNA

El concepto de corriente eléctrica estudiado en el capítulo primero, tiene dos variantes: la corriente directa y la corriente alterna. La comprensión del correcto significado de ambos términos así como su manejo apropiado, son de una gran importancia en el diario quehacer del técnico-electricista. En este capítulo estudiaremos las características más importantes y las cantidades físicas relacionadas con ambos tipos de corriente. Iniciaremos nuestro estudio definiendo una fuente de fem, sus características y -- los tipos existentes.

2.1 FUENTES DE FEM.

Bajo el nombre de fuentes de fem, son conocidos ciertos dispositivos cuya función es la de transformar energía de algún tipo en energía eléctrica.

El término fem es la abreviación de fuerza electromotriz que es el nombre que históricamente se le dió a la diferencia de potencial o voltaje que aparece en las terminales de toda fuente, la primera de ellas construída por Alessandro Volta en 1799.

A continuación se mencionan los tipos existentes de fuentes de fem y el tipo de energía que transforman en energía eléctrica.

| TIPO | ENERGIA TRANSFORMADA EN ELECTRICA |
|-------------------|-----------------------------------|
| Pila química | Química |
| Pila fotovoltaica | Luminosa |

| | |
|------------------------|------------|
| Generador eléctrico | Mecánica |
| Termopar | Calorífica |
| Cristal piezoeléctrico | Mecánica |
| Pila de combustible | Calorífica |

Estos dispositivos, al recibir energía de alguna de las formas mencionadas, producen un diferencia de potencial en sus terminales. Dicho voltaje puede ser constante en valor y polaridad para algunas fuentes, o bien, variable en el caso de otras. El que el valor y la polaridad del voltaje en terminales de una fuente de fem sea constante o variable, depende, principalmente, de la construcción de la misma.

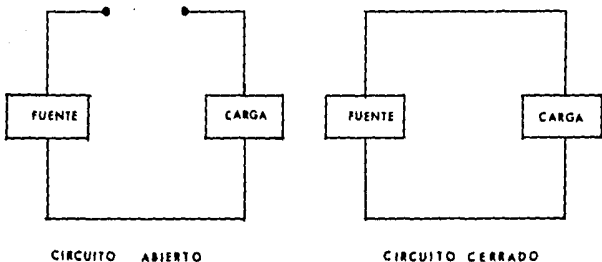
2.2 GENERALIDADES.

Básicamente, un circuito eléctrico está formado por los siguientes elementos:

- a. Una fuente de fem.
- b. Alambres o conductores para conexión.
- c. Dispositivos capaces de transformar la energía eléctrica suministrada por la fuente en otro tipo de energía. Dichos dispositivos reciben el nombre de carga. Una carga, entonces, puede ser un motor, una lámpara, un calefactor, etc.

En un circuito, la corriente que fluye debe tener una trayectoria cerrada por donde circular, y si ésta es interrumpida, el circuito es llamado circuito abierto.

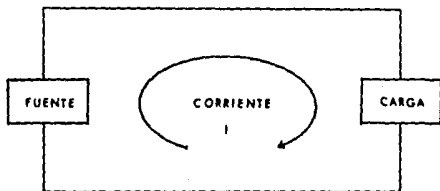
El número de dispositivos que se conecten a la fuente determina la cantidad de energía eléctrica que tiene que ser suministrada para su funcionamiento. Es por esta razón que



se llama carga también a la cantidad de potencia, (energía por unidad de tiempo), que es tomada de la fuente. Cuando decimos que la carga ha aumentado, nos referimos a que la fuente está proporcionando una mayor cantidad de energía y viceversa.

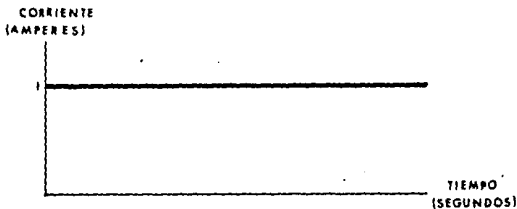
2.3 CORRIENTE DIRECTA.

Si una fuente de fem cuyo voltaje es constante en valor y polaridad se conecta a un circuito para alimentar una carga, la corriente que circula por él, también tendrá un valor constante y recibe el nombre de corriente directa o continua, cuya abreviatura es c.d.



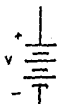
La característica principal de la corriente directa es - que su valor y el sentido en el cual circula no cambian -- con el tiempo.

Una gráfica de la corriente que circula por el circuito anterior, en función del tiempo, sería:

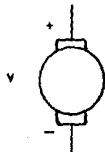


A las fuentes de fem, que son las responsables de que la corriente circulante por el circuito posea las características descritas, se les dá el nombre de fuentes de corriente directa, o fuentes de c.d.

La principal característica de las fuentes de c.d. es, - como se dijo, que el valor y polaridad de su voltaje permanecen constantes. Las fuentes de c.d. más utilizadas son - la batería y el generador de c.d., comúnmente llamado dinamo. Los símbolos que se emplean para representarlos son -- los siguientes:

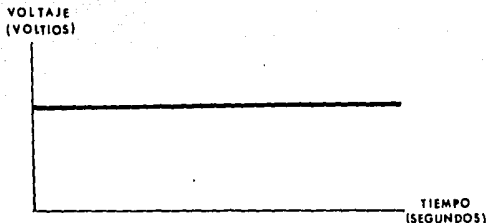


BATERIA



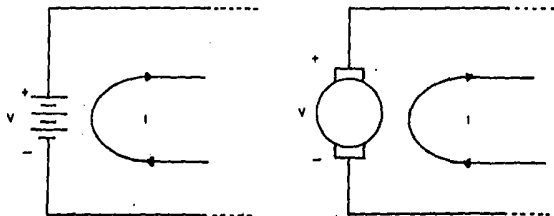
GENERADOR DE CD

La gráfica del voltaje de estas fuentes como una función del tiempo, es similar al de la corriente.



2.3.1 Potencia suministrada por una fuente de c.d.

Cuando una batería o dínamo se emplean para alimentar un circuito, la cantidad de corriente que circule por él, dependerá de la carga.



Se le dá el nombre de potencia de una fuente a la rapidez con la cual proporciona energía a un circuito. Como el trabajo y la energía son conceptos similares, la potencia-

es también la rapidez con la cual una fuente realiza el -- trabajo necesario para hacer circular una corriente I por el circuito que alimenta.

El trabajo es realizado por la batería a expensas de su energía química almacenada y el dínamo debido a la energía mecánica que le proporciona algún agente externo. Estas afirmaciones nos llevan a lo siguiente:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía eléct. suministrada}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{Tiempo}}$$

De la definición de diferencia de potencial, tenemos:

$$V_b - V_a = V = \frac{W}{Q}$$

en donde W es el trabajo realizado para transportar una -- carga de el punto a al punto b , y Q es la cantidad de carga transportada.

Como la corriente eléctrica es un flujo de cargas, éstas entran por una terminal de la fuente y salen por la otra. -- Entonces, la fuente realiza el trabajo de trasladar las -- cargas desde una de sus terminales a la otra. De acuerdo a las expresiones anteriores, el trabajo realizado por la -- fuente es:

$$W = VQ$$

Podemos, ahora, en la fórmula de potencia, sustituir W , -
lo cual sería:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VQ}{t}$$

De la definición de corriente eléctrica, obtenemos la si
guiente expresión, válida solamente para corrientes cons--
tantes:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Sustituyéndola en la última expresión obtenida para la -
potencia, resulta finalmente que:

$$P = \frac{VQ}{t} = IV$$

Potencia de la fuente = (Corriente)(Voltaje en terminales)

De esta última expresión, observamos que la potencia su-
ministrada por una fuente de c.d. a un circuito, es direc-
tamente proporcional al voltaje de la fuente y a la co---
rriente que circule por el circuito.

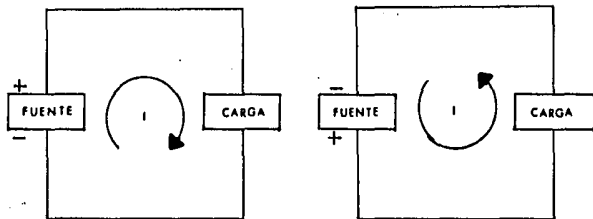
El voltaje de la fuente es independiente de la carga, no
así la corriente. Es por esta razón que si alimentamos dos
circuitos que tengan cargas distintas con fuentes cuyo vol-
taje sea igual, circularán corrientes distintas.

2.4 CORRIENTE ALTERNA

Existen ciertas fuentes de fem cuyo valor de voltaje así como su polaridad son variables con el tiempo.

Si en un circuito la polaridad de una fuente cambia, la corriente invertirá su sentido. Si los cambios de polaridad son repetidos, la corriente estará alternando su sentido.

Se llama corriente alterna, entonces, a aquella corriente que al circular por un circuito está cambiando continuamente de sentido. La abreviación utilizada para mayor simplicidad es c.a.



CORRIENTE ALTERNA

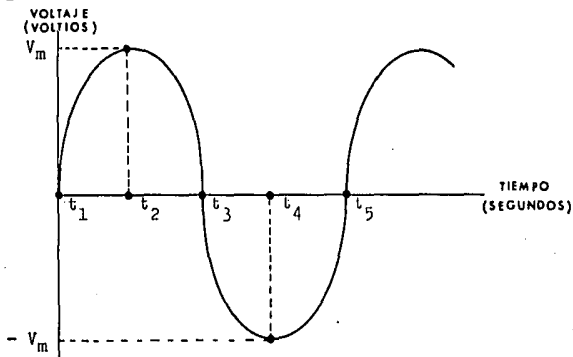
Es importante observar que si la corriente cambia de sentido al circular por un circuito, es debido a que la polaridad de la fuente está variando. A las fuentes de fem cuya polaridad cambia con el tiempo, se les da el nombre de fuentes de c.a. El valor del voltaje en las terminales de este tipo de fuentes puede ser constante o variable.

El generador de c.a., llamado comúnmente alternador, es la fuente de c.a. más utilizada en la actualidad. A conti-

nuación es mostrado su símbolo.



En un alternador, la polaridad del voltaje de sus terminales así como su valor, están variando continuamente. Una gráfica de dicho voltaje en función del tiempo sería la siguiente:

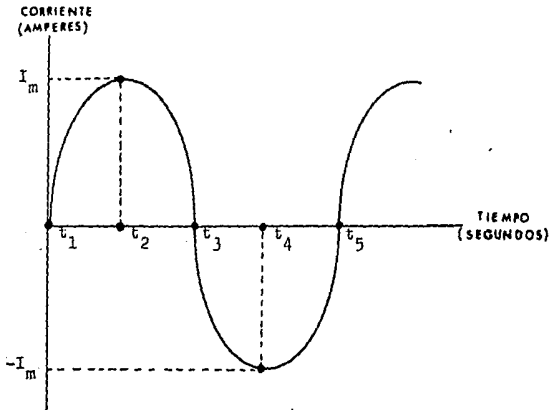
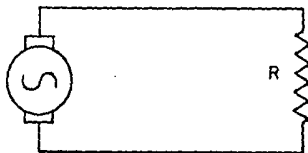


Si realizamos un pequeño análisis de la gráfica, observamos que en t_1 segundos, el valor del voltaje en las terminales del alternador es de 0 voltios. Al transcurrir el tiempo, el voltaje empieza a aumentar gradualmente hasta llegar al valor V_m en el tiempo t_2 . El valor V_m es el voltaje máximo que llega a aparecer en terminales del alterna

Por lo tanto, el voltaje en el tiempo t_1 es V_m . Posteriormente dicho voltaje empieza a disminuir hasta llegar a 0 voltios en t_2 . En ese instante, la polaridad del voltaje cambia en forma automática y empieza a aumentar hasta llegar a $-V_m$ en t_3 , disminuyendo nuevamente a 0 voltios en el tiempo t_4 . Inmediatamente cambia la polaridad y el ciclo vuelve a repetirse en forma indefinida.

Si ahora conectamos el alternador a un circuito que contenga una resistencia R , la gráfica de la corriente que circula por el circuito tendrá una forma similar a la del voltaje.

Alternador conectado a una resistencia R .



Analizando ahora la gráfica de la corriente que circula por el circuito vemos que en el tiempo t_1 la corriente tiene un valor de 0 amperes. Inmediatamente después aumenta su valor hasta llegar a I_m en t_2 , el cual es un máximo. Entonces, la corriente disminuye hasta 0 en t_3 , y en ese instante empieza a circular en sentido contrario aumentando su valor hasta $-I_m$ en t_4 . Posteriormente vuelve a disminuir hasta 0 amperes en t_5 , y vuelve a circular en sentido contrario repitiéndose lo ya descrito.

Las gráficas mostradas anteriormente representan la forma de onda para el voltaje y la corriente más empleados en circuitos de c.a. Dicha curva recibe el nombre de onda senoidal debido a que es la representación gráfica matemática del seno de un ángulo, la cual es una función trigonométrica. Es muy común, por lo tanto, llamar voltaje o corriente senoidal a la corriente o voltaje alternos que estamos estudiando.

2.4.1 Características de voltajes y corrientes senoidales.

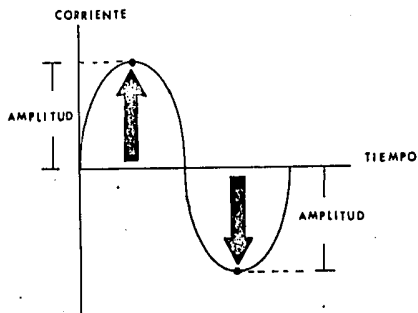
Los voltajes y corrientes senoidales alternos, presentan ciertas características cuyo conocimiento y comprensión es muy importante. Estas son:

a. Amplitud

La amplitud de una onda de voltaje o corriente es el valor máximo que alcanza. Su valor es el mismo ya sea que se tome en dirección positiva que en negativa.

En la gráfica mostrada a continuación, la amplitud viene a ser la distancia del eje horizontal al punto más alto de la onda sobre el eje, o al punto más bajo por debajo del e

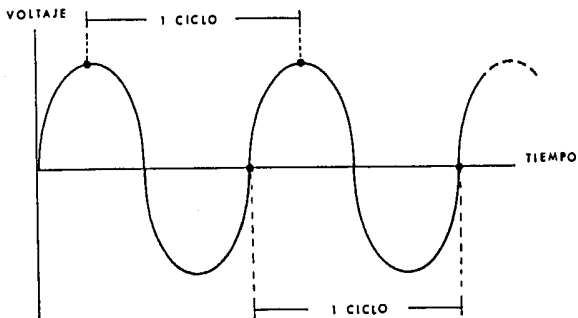
je. La amplitud es conocida también como el valor pico del voltaje o la corriente.



b. Periodo y ciclo.

El periodo de una corriente o voltaje senoidal, es el tiempo que tarda en producirse un ciclo completo.

Cuando partimos de un valor y recorremos la gráfica hasta encontrarnos nuevamente en la misma posición después de

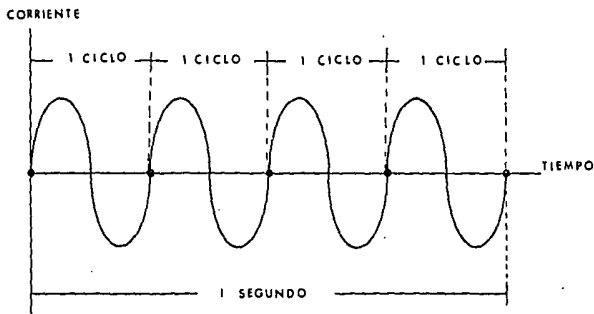


haber realizado dos alternaciones, ya sea en el voltaje o en la corriente, se dice que hemos completado un ciclo.

El símbolo utilizado para el periodo es la letra T, y -- sus unidades son los segundos.

c. Frecuencia.

Se conoce como frecuencia, al número de ciclos generados en un segundo. Cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será el número de ciclos producidos y viceversa. La unidad en la cual expresamos la frecuencia es el hertz o cps (ciclos por segundo). En la gráfica que aparece a continuación, se muestra una corriente cuya frecuencia es de 4 hertz.



Las frecuencias usadas actualmente en los voltajes generados por los alternadores de las centrales eléctricas son 25, 50 y 60 hertz, siendo esta última la más popular en la mayoría de las aplicaciones.

La transmisión de señales de televisión o radiofrecuencia se hace por medio de ondas electromagnéticas radiadas-

al espacio y cuyas frecuencias varían desde varios miles - hasta millones de hertz.

Los múltiplos empleados para las unidades de frecuencia- son:

1 kilohertz = 1,000 hertz

1 Megahertz = 1,000,000 hertz

El símbolo usado para expresar la frecuencia es la letra f. El periodo y la frecuencia de una onda senoidal se relacionan entre sí mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{1}{\text{Periodo}}$$

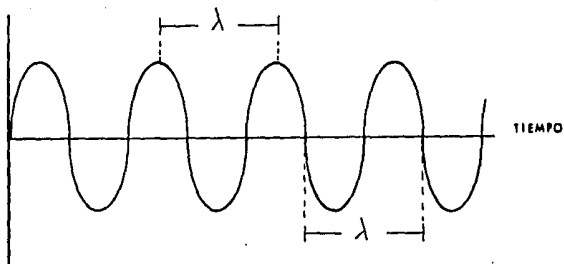
De lo anterior, un voltaje alterno cuya frecuencia es de 60 hertz, tiene un periodo igual a 1/60 de segundo. Es decir, que requiere de un tiempo igual a 0.016 segundos para completar un ciclo.

d. Longitud de onda.

Se llama longitud de onda a la distancia longitudinal, - en metros, que recorre una onda al completar un ciclo. Su símbolo es la letra griega λ .

La longitud, la frecuencia y la velocidad de una onda se noidal se encuentran relacionadas mediante la ecuación:

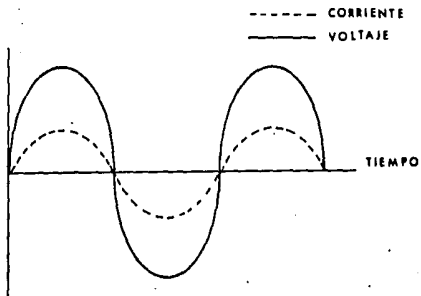
$$\lambda = \frac{v}{f}$$



Para las aplicaciones en circuitos eléctricos que haremos posteriormente, la longitud de onda no es una característica tan importante como lo es en el campo de las comunicaciones.

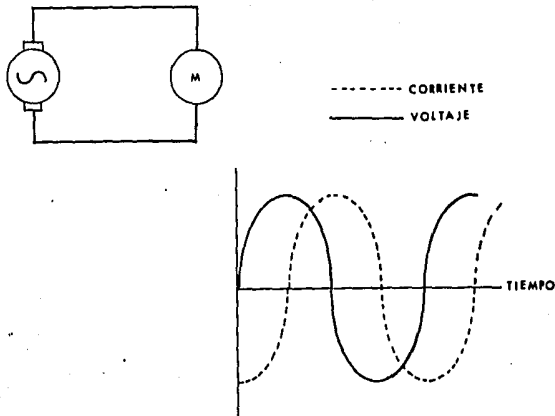
e. Fase y diferencia de fase.

Si en un circuito formado por un alternador y una resistencia, y que fue mencionado anteriormente, graficamos en un mismo sistema de ejes el voltaje de la fuente y la corriente que circula por el circuito, obtendremos:



Observamos que tanto la corriente como el voltaje alcanzan sus valores máximos así como cero, en el mismo instante. En t_1 , la corriente y el voltaje alcanzan su valor máximo negativo. Se dice, entonces, que la corriente y el voltaje están en fase.

Si a continuación sustituimos la resistencia R por un motor, la gráfica del voltaje y la corriente será la siguiente:



Se observa ahora que el valor máximo positivo del voltaje y el de la corriente no ocurren en el mismo instante, ni tampoco son cero sus valores al mismo tiempo. Se dice que la corriente y el voltaje están desfasados, existiendo una diferencia de fase entre ellos.

El que la corriente y el voltaje de un circuito estén en fase, dependerá de las características de la carga. En el capítulo referente a circuitos eléctricos, se tratará esto en forma más detallada.

2.4.2 Valores de voltajes y corrientes senoidales.

Para especificar un valor de voltaje o de corriente directa no existe problema alguno, ya que estos no varían -- con el tiempo. En cambio, para especificar un valor alterno, es necesario saber qué tipo de valor se necesita, ya -- que de acuerdo a las características estudiadas anteriormente, existen varios tipos de valores.

Un voltaje o corriente senoidal se expresa en forma matemática de la siguiente manera:

$$i = I_m \text{ sen}(wt) \qquad v = V_m \text{ sen}(wt)$$

en donde v e i son llamados valores instantáneos, I_m y V_m son los valores máximos, y wt expresado en radianes se llama ángulo de tiempo.

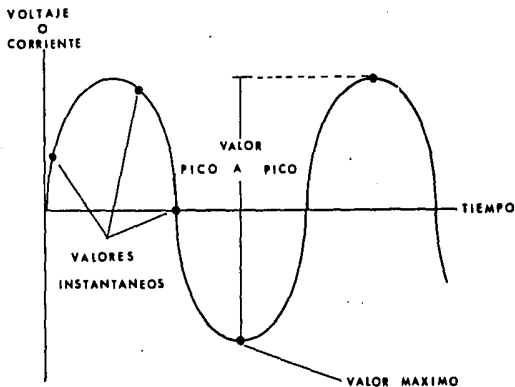
El valor instantáneo es el valor que tiene el voltaje o la corriente en un instante dado. Para encontrar dicho valor, sustituimos t en la ecuación, haciendo w igual al producto de la frecuencia por 2π . Por tanto, el valor instantáneo depende del instante seleccionado, así como de la -- frecuencia establecida.

Puesto que wt representa un ángulo, las ecuaciones anteriores pueden ser expresadas en función de radianes o grados. De esta manera:

$$i = I_m \text{ sen } A \qquad v = V_m \text{ sen } A$$

La siguiente gráfica nos muestra algunos valores instantáneos y máximos de una onda senoidal de corriente o voltag

je. El valor pico a pico es un valor cuya magnitud es el -
doble del valor máximo.



La única forma práctica de medir los valores instantáneos y máximos es por medio de un osciloscopio, un instrumento útil, mas sin embargo, inexacto, costoso y muy delicado. Esa es una de las razones por las cuales se emplean los valores eficaces, los cuales pueden medirse fácilmente con instrumentos mucho más sencillos, compactos y más baratos que el osciloscopio. Otra de las causas para el uso de estos valores lo es su fácil manejo matemático en la resolución de problemas de circuitos.

El valor eficaz de un voltaje o corriente alternos, es aquel que en un circuito resistivo, (compuesto por resistencias únicamente), produce la misma cantidad de calor que - la producida por una corriente o voltaje de c.d. del mismo valor.

Una corriente eficaz de 2 amperes, por lo tanto, produce el mismo calor al circular por una resistencia de 5 ohms, - que el que producirá una corriente directa de 2 amperes.

El valor eficaz, llamado también valor efectivo, rms ó - rcm (raíz cuadrática media), se calcula a partir de:

$$I_{\text{eficaz}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad V_{\text{eficaz}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

El valor de 110 voltios para el voltaje que aparece en - las tomas de corriente en nuestros hogares, es un valor e - ficaz.

Existe un valor más que es empleado en ocasiones con fi - nes estadísticos: el valor medio.

El valor medio de una corriente o voltaje senoidal, es - el promedio de todos los valores instantáneos durante me - dio ciclo, ya que el promedio de un ciclo completo es cero debido a que los medios ciclos son idénticos pero uno es - positivo y el otro negativo.

Calculamos los valores medios a partir de las siguientes relaciones:

$$I_{\text{medio}} = 0.636 I_m \qquad V_{\text{medio}} = 0.636 V_m$$

2.4.3 Potencia suministrada por una fuente de c.a.

La potencia que en un instante dado suministra una fuen - te de c.a. a un circuito, es llamada potencia instantánea - y se simboliza con la letra p. Se define a p de la siguien - te forma:

$$p = vi$$

p = Potencia instantánea suministrada por la fuente
 v e i = valores instantáneos de voltaje y corriente

Dependiendo de la carga de un circuito, la corriente y el voltaje pueden estar en fase o no estarlo, y por lo tanto, las características del producto iv varían. Habrá entonces varios tipos de potencia aparte de la instantánea, los cuales se estudiarán en detalle en el capítulo correspondiente a circuitos.

2.5 VENTAJAS DE LA C.A. SOBRE LA C.D.

Es obligado ahora, después de haber realizado nuestro estudio de los dos tipos de corrientes existentes, hablar de las ventajas que cada una tiene sobre la otra.

La primera fuente de energía eléctrica, la pila voltaica aparecida en 1799, era una fuente de c.d., como también de c.d. lo fue la primera central eléctrica montada por Edison en la ciudad de Nueva York, y que aún se encontraba en funcionamiento satisfactorio en 1885, un año antes de que empezara a funcionar la primera central de c.a. en Massachusetts.

Sin embargo, en la actualidad, más del 90% de la energía eléctrica consumida en el mundo es de c.a. Esto se debe a que en el transcurso del tiempo se fueron ampliando los conocimientos que sobre la c.a. se tenían, perfeccionándose así los métodos de generación y distribución de la energía eléctrica.

La corriente alterna es, desde el punto de vista de su generación, mucho más fácil de producir y los alternadores mismos presentan ventajas importantes en construcción y eficiencia sobre los dínamos. Una de esas ventajas es la de poder suministrar potencias mucho más elevadas.

En cuanto al transporte se refiere, éste se hace por medio de conductores desde la central generadora hasta el -- centro de consumo, llegando a cubrir distancias de cientos de kilómetros en algunas ocasiones. Es un factor importante, entonces, que las pérdidas por efecto Joule sean mínimas. Un dispositivo llamado transformador, el cual solo -- trabaja con c.a., hace posible elevar y reducir los valores del voltaje generado y con eso, poder transmitir la energía eléctrica a elevados voltajes y pequeñas corrientes reduciendo de esta manera las pérdidas que por calentamiento tienen lugar y que dependen del cuadrado de la corriente que circula por los conductores y de la resistencia de ellos, (I^2R).

Otra de las ventajas, la ha suministrado el avance de la tecnología electrónica, ya que por medio de un dispositivo llamado rectificador, es posible obtener c.d. a partir de la c.a. El proceso mencionado recibe el nombre de rectificación.

En el campo de las comunicaciones electrónicas como lo son la televisión, radio y radar, éstas se hacen por medio de corrientes alternas de muy alta frecuencia, las cuales son radiadas al espacio y detectadas por medio de antenas.

Cabe decir, sin embargo, que existen ciertas aplicaciones en las cuales solo es útil la corriente directa. Una de ellas es en los aparatos eléctricos y electrónicos por-

tátiles, los cuales son usados en sitios donde no existen tomacorrientes.

2.6 PILAS QUIMICAS.

Las pilas o celdas químicas, son fuentes de fem que transforman energía química en energía eléctrica. Cuando son agrupadas dos o más pilas e interconectadas entre sí, forman lo que conocemos como batería.

Una pila química elemental consta de dos conductores de materiales diferentes sumergidos en una solución química rica en iones. Los conductores son llamados electrodos y a la solución química se le llama electrolito.

Dependiendo de la consistencia del electrolito empleado, las pilas se dividen en:

| | | |
|----------------|---|---------|
| PILAS QUIMICAS | } | Húmedas |
| | | Secas |

Las pilas húmedas utilizan el electrolito en forma líquida, y las secas lo usan en pasta.

De acuerdo al tipo de transformación energética llevada a cabo en su interior, las pilas también pueden clasificarse así:

| | | |
|----------------|---|-------------|
| PILAS QUIMICAS | } | Primarias |
| | | Secundarias |

En una pila primaria, el proceso para la obtención de e-

energía eléctrica es irreversible. Es decir, obtenemos energía eléctrica directamente mediante una reacción química - de los elementos de la pila, los cuales sufren un desgaste y tienen que ser reemplazados después de cierto tiempo de uso. En otras palabras, este tipo de pilas no puede recargarse.

En una pila secundaria, el proceso es reversible, ya que haciendo circular una corriente eléctrica en sentido contrario a como la pila hace que circule en un circuito, la condición inicial de los elementos puede restaurarse. A este procedimiento se le llama recargar una pila.

A continuación, analizaremos cómo se produce la diferencia de potencial y cual es el mecanismo para que una pila haga circular corriente en un circuito. Como modelo utilizaremos una pila húmeda primaria.

2.6.1 Pila húmeda primaria.

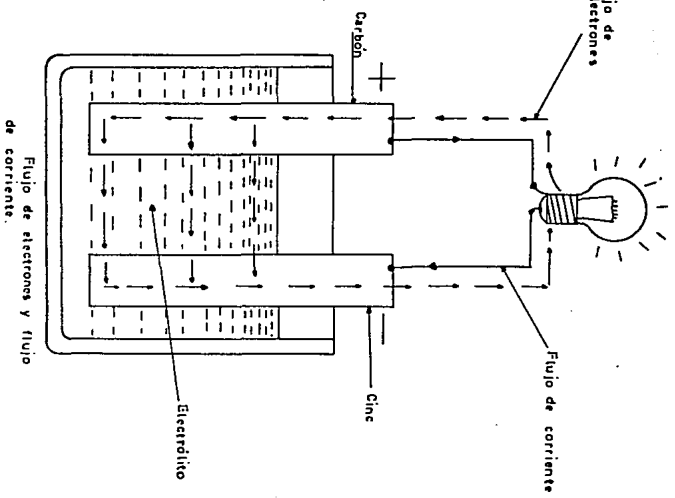
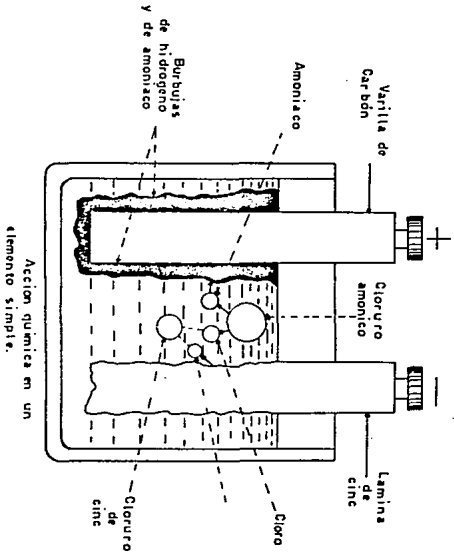
La pila que utilizaremos como ejemplo tiene por electrodos una varilla de carbón y una lámina de cinc. El electrolito usado es una mezcla de agua con una pequeña cantidad de cloruro de amonio.

Cuando se sumergen en la solución los electrodos, se produce una reacción química entre la solución electrolítica y los electrodos, teniendo lugar un desequilibrio en la constitución de los átomos de los elementos, lo cual da como resultado que la varilla de carbón adquiera una carga positiva y la lámina de cinc una carga negativa. El electrodo cargado positivamente recibe el nombre de cátodo, -- llamándosele ánodo al que queda cargado negativamente.

Si conectamos un pequeño foco que trabaje con bajo voltaje, éste se prenderá, ya que el exceso de electrones de la lámina de cinc fluirán atraídos por la varilla de carbón y serán regresados nuevamente a la lámina de cinc a través del electrolito.

Mientras se lleva a cabo este proceso, la lámina de cinc se consume lentamente ya que debido a la acción química -- que la pila efectúa para mantener circulando la corriente eléctrica, ocurre un desprendimiento de iones de cinc, los cuales actúan con la solución para formar cloruro de cinc. Después de funcionar un cierto tiempo, el desgaste del electrodo es tal que hay que reemplazarlo así como también al electrolito, ya que se ha saturado de tal forma que no puede servir como medio para que internamente circulen los electrones de un electrodo a otro. El electrolito pierde -- pues, su poder de conducción.

También durante el funcionamiento de la pila son liberados iones de hidrógeno positivos, los cuales son obtenidos a partir del agua contenida en la solución electrolítica. -- Cuando estos iones entran en contacto con el electrodo de carbón, toman electrones de él para neutralizarse y se van formando burbujas de hidrógeno sobre la superficie de la -- varilla de carbón. Los iones positivos del amonio de la -- misma solución electrolítica y que también son producidos -- durante la reacción química de la pila, hacen exactamente lo mismo que los iones hidrógeno. Aparecen entonces, burbujas de hidrógeno y amoníaco alrededor del electrodo positivo, lo cual disminuye su capacidad de mantener la corriente del elemento y que provoca, además, la aparición de un voltaje opuesto al normal, el cual se ve reducido en su valor. Este efecto recibe el nombre de polarización y es co-



mún en todas las pilas primarias. Sin embargo, se puede --
contrarrestar añadiendo un elemento despolarizador, el ---
cual posee un gran contenido de oxígeno para reaccionar --
con el hidrógeno y formar moléculas de agua, evitando las-
burbujas de hidrógeno alrededor del cátodo.

Debido a las impurezas de los metales usados en la fabri-
cación de pilas, el metal llega a consumirse aún cuando no
esté en funcionamiento la pila. A este fenómeno se le lla-
ma acción local y se reduce, en algunos casos, amalgamando
el electrodo que se consume.

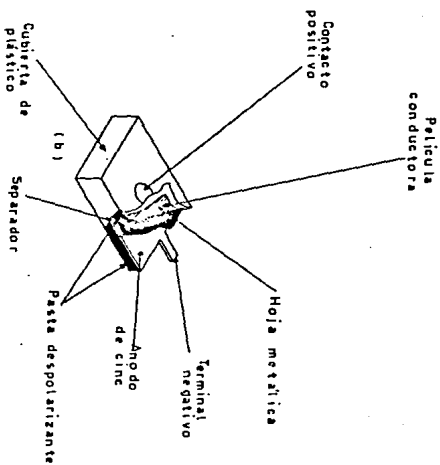
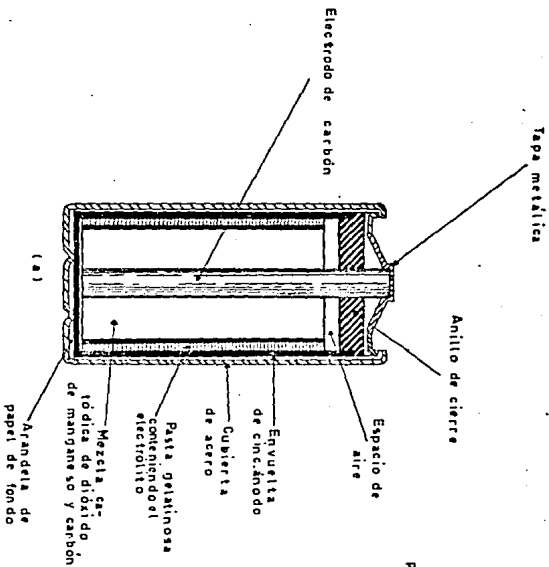
A continuación, estudiaremos algunos tipos de pilas se--
cas primarias que existen comercialmente en la actualidad.

2.6.2 Pila seca de carbón-cinc.

Esta pila está formada por un recipiente de cinc, el -
cual actúa como electrodo negativo. El electrolito es una-
pasta gelatinosa compuesta por una solución de cloruro de
amonio, cloruro de cinc y agua. El electrodo positivo lo -
forman una mezcla en polvo conteniendo dióxido de mangane-
so, cloruro de cinc y grafito. Una varilla de carbón com-
pleta el electrodo positivo, usándose carbón por ser un --
buen conductor eléctrico suficientemente poroso como para
permitir la salida de los gases acumulados en la pila, y -
porque debido a su densidad impide las fugas de electroli-
to.

Para disminuir los efectos de polarización es usado el -
dióxido de manganeso en la mezcla catódica y para evitar -
la acción local, el recipiente de cinc es amalgamado.

Las fugas son evitadas usando sellos y cubriendo el reci-



Pilas carbón-cinc:

(a) Cilíndricas.

(b) Planas.

piente de cinc con una envoltura de papel, o también protegiendo la cubierta de cinc con un forro de acero para evitar dilataciones. Entre el forro de acero y el recipiente existe una cubierta aislante que por lo general es de papel.

Este tipo de pila tiene un voltaje de salida de 1.5 voltios aproximadamente y su voltaje disminuye con el uso en forma apreciable. Las formas y tamaños de estas pilas abarcan una gran variedad, usándose en forma extensa debido a su bajo costo.

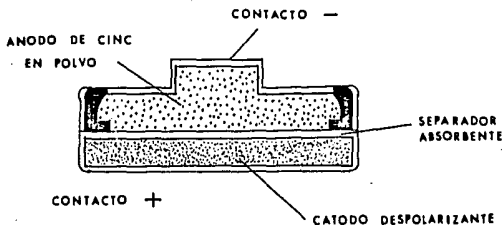
2.6.3 Pila de óxido de plata.

Este tipo de pilas secas, utilizan como cátodo despolariante una mezcla de óxido de plata y dióxido de manganeso. Dicho cátodo se encuentra comprimido y depositado en el fondo, estando en contacto con la envoltura de la pila.

El ánodo está compuesto por un polvo de cinc comprimido en forma de disco y se localiza en la parte superior de la pila. Ambos electrodos están separados mediante un material absorbente que contiene el electrolito.

Se utilizan como electrolitos dos tipos de hidróxidos: el de potasio y el de sodio. El primero es empleado en la fabricación de pilas que funcionarán con corrientes relativamente grandes. El segundo de ellos es utilizado cuando se requiere de la pila una vida larga.

Este tipo de pila presenta voltajes de 1.6 y 1.5 voltios en circuito abierto y en funcionamiento, respectivamente. Resiste severos abusos y es posible tenerla almacenada durante tiempos muy grandes, llegando a conservar intacta su

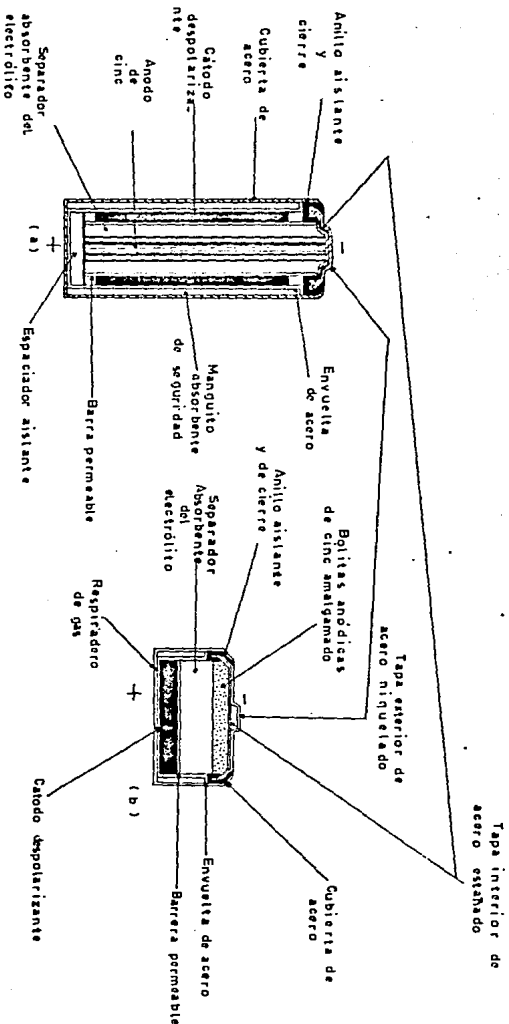


capacidad. En comparación con pilas de tamaños similares, las de óxido de plata tienen vidas mucho más largas y pueden suministrar potencias mayores.

2.6.4 Pila de mercurio.

En este tipo de pilas, el cátodo despoliarizante está formado por óxido de mercurio y un poco de grafito. El ánodo es un polvo de cinc de alta pureza y amalgamado. El electrolito es acuoso y está formado por una concentración de hidróxido de potasio y óxido de cinc. Todo lo anterior se encuentra encerrado herméticamente por una envoltura de acero. Estas pilas pueden ser planas o cilíndricas.

Si la pila es cilíndrica, el ánodo se encuentra comprimido y formando un cilindro en el centro de la pila. El cátodo, también comprimido, se encuentra formando una envoltura exterior. En la pila plana, ánodo y cátodo son de forma plana, encontrándose el primero en la parte superior de la pila y el segundo en el fondo de la misma. Un material absorbente conteniendo el electrolito separa ambos electro-



Pilas de mercurio:

(a) Cilindrica.

(b) Plana.

dos en los dos tipos de pilas. Una barrera permeable es empleada para evitar el movimiento de partículas sólidas en el interior. La cubierta exterior se hace con acero niquelado, ya que es resistente a la corrosión y no es atacada por los materiales internos, además de proporcionar una adecuada autoventilación que permite salir el exceso de gas formado cuando en la pila circula una corriente inversa o hay una corriente excesiva en el circuito que alimenta.

Este tipo de pilas presentan variaciones muy pequeñas en el voltaje con respecto al tiempo, por lo cual puede considerarse relativamente constante. Además, esta pila puede ser sometida a condiciones severas en forma momentánea sin sufrir un daño permanente.

Entre sus aplicaciones principales es usada como fuente en aparatos detectores de radiaciones, calculadoras de bolsillo, equipos electrónicos que requieren voltajes constantes durante su operación, etc.

2.6.5 Pila alcalina de manganeso-cinc.

Esta pila es similar a la de carbón-cinc. Ambas utilizan como electrodo negativo al cinc y al dióxido de manganeso como mezcla catódica. La diferencia estriba, principalmente, en el electrolito empleado. En este tipo de pilas, el electrolito empleado es el hidróxido de potasio, componente altamente alcalino.

Este tipo de pila se diseñó para cubrir la necesidad de poseer una fuente de intensidad elevada y gran capacidad de servicio. Bajo ciertas condiciones de trabajo, esta pila llega a suministrar un servicio equivalente al que prestarían 10 pilas de carbón-cinc del mismo tamaño.

2.6.6 Arreglos de pilas en serie y paralelo.

Una batería, como ya se mencionó, es un conjunto de pilas interconectadas entre sí que bien pueden formar una unidad compacta, como en el caso de los acumuladores, o bien pueden estar agrupadas formando lo que se conoce como bancos.

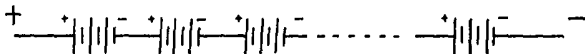
Las pilas pueden interconectarse en serie, paralelo o formando una combinación de ambas.

a. Pilas conectadas en serie.

Este tipo de conexión se utiliza cuando el voltaje requerido sobrepasa el de una sola pila. Para conectar pilas en serie, se une el terminal negativo de cada una con el positivo de la siguiente, quedando libres el terminal positivo de la primera pila y el negativo de la última, los cuales pasan a ser los terminales de la batería.

El voltaje de la batería es igual a la suma del voltaje de cada pila.

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$



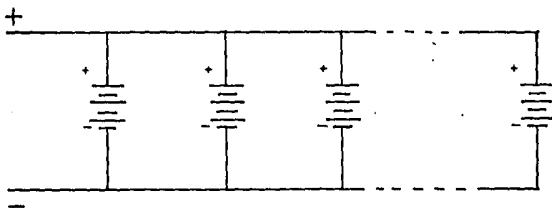
En una combinación de pilas en serie, la corriente que pasa por todas las pilas es la misma, de modo que no se aumenta la capacidad de corriente de todo el conjunto.

b. Pilas conectadas en paralelo.

Las pilas se conectan en paralelo cuando son necesitadas corrientes de mayor intensidad que la obtenida con una pila. Esta conexión se logra uniendo todos los terminales negativos y sacando una línea conductora de un extremo y de igual forma se unen todos los terminales positivos y se obtiene una segunda línea. Es una condición que todas las pilas tengan el mismo voltaje, ya que de lo contrario la que tenga mayor voltaje estará alimentando a las demás.

La corriente total producida será igual a la suma de la de todas las pilas.

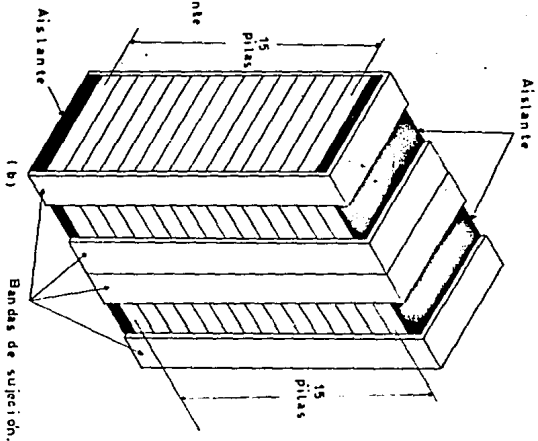
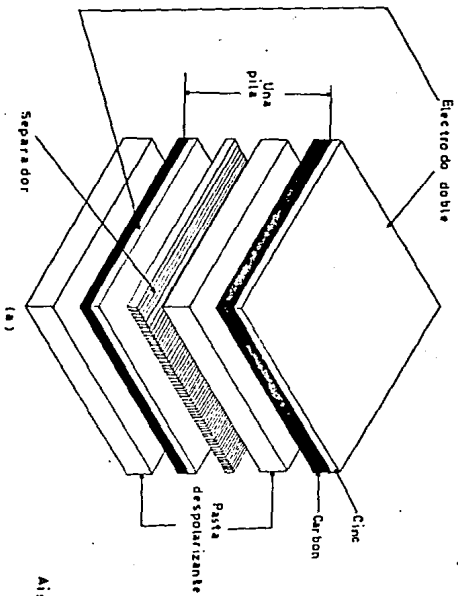
$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$



Conectando pilas en combinaciones en serie y en paralelo pueden ser obtenidos voltajes y corrientes más elevados.

2.6.7 Pilas secundarias.

Las pilas primarias están limitadas a una vida útil muy breve, debido a los continuos desgastes de los elementos, en cambio, las pilas secundarias fueron creadas para una vida útil muy larga.



Bateria en miniatura:

- (a) Disposicion de las partes de una pila.
- (b) Grupo de 30 pilas en 2 bloques de 15.

Las pilas secundarias o acumuladores, pueden cargarse, - convirtiendo la energía eléctrica en energía química. Luego, al descargarse, la energía química vuelve a convertirse en eléctrica. La batería de acumuladores consta de varios elementos secundarios usualmente conectados en serie.

Podemos clasificar a las pilas secundarias o acumuladores, de la siguiente manera:

- a. De plomo.
- b. De níquel-hierro.
- c. De níquel-cadmio.
- d. De cadmio-óxido de plata.

Dependiendo del electrolito utilizado, los acumuladores pueden ser alcalinos o no. A continuación, estudiaremos cada uno de ellos.

2.6.8 Acumulador de plomo.

En un acumulador de plomo, los electrodos negativos son de plomo esponjoso y los positivos de peróxido de plomo. - Se emplea como electrolito una solución de ácido sulfúrico.

La capacidad del acumulador de plomo se expresa en amperes-hora, y este valor es proporcional a la superficie activa de los electrodos.

Para la construcción de baterías, se sitúan las placas positivas entre las negativas. Para ahorrar espacio, se colocan las placas positivas próximas entre sí y un aislante entre ellas evita que una placa positiva haga contacto con una negativa. A los aislantes se les dá el nombre de separadores y pueden ser de madera, plástico o ebonita.

Estas baterías son usadas principalmente en el campo automotriz, donde producen corrientes elevadas durante pocos segundos para arrancar el motor. Sus valores típicos son - 6 y 12 voltios, y su vida útil promedio es de 4 años.

2.6.9 Acumulador de níquel-hierro.

Este acumulador está formado por un ánodo de hierro, un cátodo de óxido de níquel y un electrolito alcalino de hidróxido de potasio.

Este acumulador es ligero en peso y muy resistente a sobredescargas y sobrecargas. Puede ser trabajado a temperaturas muy bajas y permanecer descargado durante largo periodos de tiempo.

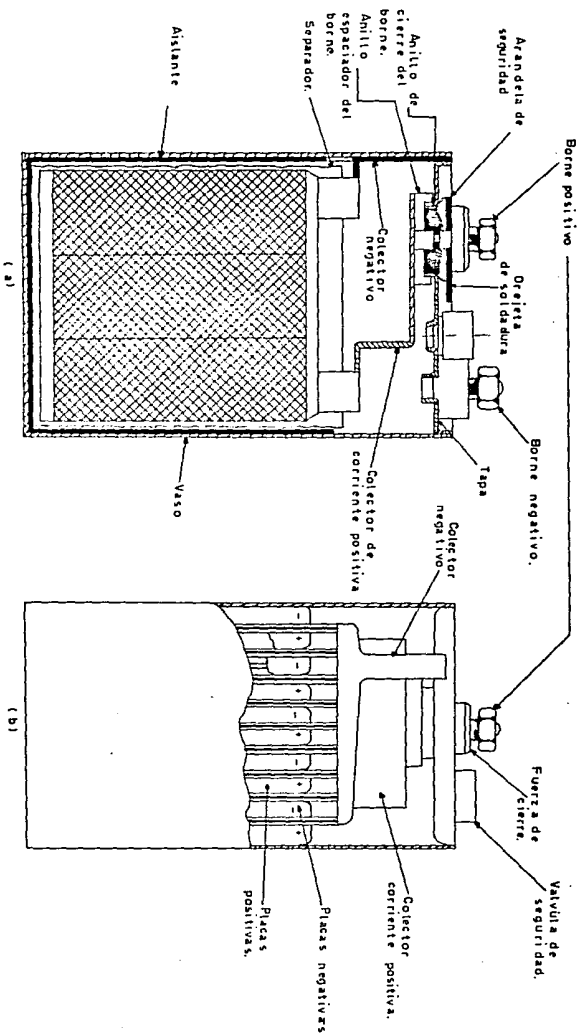
Su vida útil oscila entre los 7 y 12 años si el trabajo es duro y continuo, o bien puede durar de 14 a 25 años si es utilizado como fuente auxiliar o suplementaria.

Se emplea comúnmente en los ferrocarriles y en aquellas aplicaciones industriales que requieran un trabajo duro.

2.6.10 Acumulador de níquel-cadmio.

Este acumulador es similar al de níquel-hierro, con la excepción de que el ánodo es de cadmio. De acuerdo a su construcción, existen tres tipos de acumuladores: de botón, cilíndricos y rectangulares. En las siguientes dos hojas son mostrados estos tres tipos.

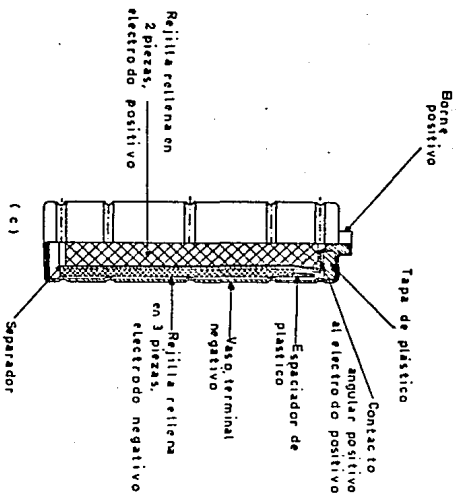
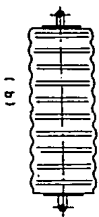
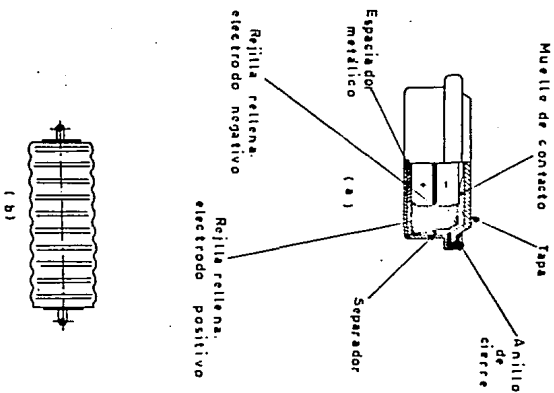
En el interior de estos acumuladores son generados ciertos gases debido a la actividad química existente. Si el acumulador es del tipo ventilado, los gases son liberados -



Acumulador rectangular de níquel-cadmio:

(a) Vista lateral.

(b) Corte suprficial



Acumuladores de níquel-cadmio:

- (a) de botón.
- (b) apilado de acumuladores de botón.
- (c) Cilíndrico.

mediante una válvula especial. Si está cerrado herméticamente, entonces los gases se consumen dentro del acumulador.

Los tres tipos mencionados anteriormente, son fabricados en varios tamaños y pueden usarse en forma individual o formando baterías. El de tipo cilíndrico es similar en construcción a las pilas secas cilíndricas y se puede usar en sustitución de las mismas. El rectangular, es capaz de soportar trabajos duros y posee un respiradero de seguridad que solo se activa en caso de que opere en condiciones severas.

Dependiendo del tipo, los acumuladores de níquel-cadmio tienen una amplia gama de aplicaciones. Son usados en sistemas de alarmas, amplificadores, flashes electrónicos, luces de emergencia y varias más.

CAPITULO 3

PRINCIPIOS Y FUNCIONAMIENTO DE ALGUNOS APARATOS ELECTRODOMESTICOS, APARATOS DE ME
DICION Y DISPOSITIVOS DE USO GENERAL.

3.1 APARATOS ELECTRODOMESTICOS.

Iniciamos el estudio del presente capítulo con el análisis, primeramente, del funcionamiento de los aparatos electrodomésticos más utilizados, teniendo en cuenta que el técnico electricista se verá en la necesidad de prestar mantenimiento y detectar fallas en los mismos durante su ejercicio como tal.

Los aparatos electrodomésticos los podemos dividir en dos grandes grupos:

1. Aparatos que utilizan elementos calefactores, tales como planchas estufas eléctricas, cafeteras, tostadores de pan, etc.

2. Aparatos operados con motores eléctricos, como lo son refrigeradores, lavadoras, secadoras, licuadoras, ventiladores, etc.

Partiendo de la clasificación anterior, se analizarán modelos en general, tomando en cuenta que las variantes en cuanto a dispositivos adicionales están determinadas por el costo del aparato y por el fabricante del cual se trata. Sin embargo, en la mayoría de los aparatos, podemos auxiliarnos mediante los diagramas que algunos fabricantes incluyen como información adicional para mantenimiento. Dichos diagramas nos muestran la disposición de los elementos utilizados y sus conexiones entre sí. Al final del presente trabajo se incluye una lista de símbolos utilizados en los diagramas eléctricos en general, no solo de aparatos

tos electrodomésticos, así como el significado de los símbolos.

También la mayoría de los aparatos tienen una placa en la cual, además de los datos del fabricante como lo son el modelo y la serie, aparecen los valores de voltaje de alimentación, corriente nominal de operación y la potencia de dichos aparatos. A esta información se le dá el nombre de valores nominales.

3.1.1 Aparatos que utilizan elementos calefactores.

Los aparatos cuyo funcionamiento es por medio de elementos calefactores tienen su principio en la ley de Joule. - Al circular la corriente eléctrica por el elemento calefactor, éste produce el calentamiento necesario para la aplicación deseada. Los elementos calefactores pueden tener -- formas y construcciones diversas. En el caso de las planchas, el elemento se encuentra dentro de la base del aparato, y por contacto transmite el calor a toda la base.

En el caso de las tostadoras de pan, el elemento en cuestión es un alambre que se encuentra enrollado a un molde de asbesto o mica. Al circular la corriente por el elemento, éste se pone al "rojo vivo", y al colocar la rebanada de pan cerca de él, ésta se tuesta en dos o tres minutos. - Los moldes, sin embargo, no llegan a quemarse aún cuando - el alambre alcance temperaturas muy elevadas.

En algunas cafeteras, el elemento calefactor es sumergible, o sea, se construye de manera que pueda sumergirse en el agua, a la cual calienta por contacto.

Electricamente hablando, los elementos calefactores se -

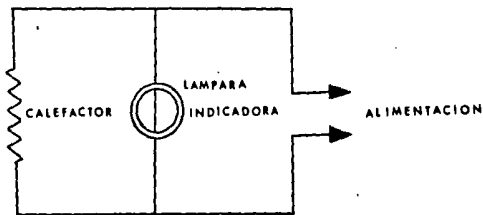
diferencian unos a otros por la cantidad de potencia que son capaces de disipar, o sea, la cantidad de energía calorífica por unidad de tiempo que es transformada por ellos a partir de la energía eléctrica proporcionada por la fuente. Ese valor está dado en vatios. Así, un elemento calefactor de 800 vatios se calienta menos que uno de 1,000 vatios, cuando los dos son alimentados con el mismo valor de voltaje.

Desde otro punto de vista, existen dos clases de aparatos que utilizan elementos calefactores: los no controlados y los controlados.

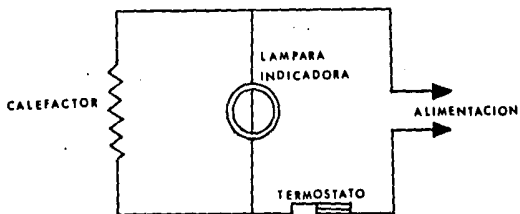
Cuando hablamos de un aparato no controlado, nos referimos a aquel en el cual la corriente fluye continuamente -- mientras el aparato esté conectado a la fuente.

El controlado, mediante un dispositivo llamado termostato, interrumpe o restablece automáticamente la corriente eléctrica, dependiendo del valor de la temperatura. Es pues el termostato, un dispositivo que mantiene constante la -- temperatura y es el encargado de interrumpir el suministro de corriente cuando cierto valor de temperatura es alcanzado, y de restablecerla, cuando la temperatura desciende de ese cierto valor. Mas adelante, en este mismo capítulo, se explicará el funcionamiento y construcción del termostato.

A continuación, se mostrarán los diagramas de un aparato controlado y de uno no controlado. Los aparatos en cuestión pueden ser planchas o cafeteras, ya que ambos tienen un diagrama similar, cambiando solamente el tipo de elemento calefactor y la construcción del aparato. Sobre el diagrama se indica elemento al cual corresponde el símbolo empleado.



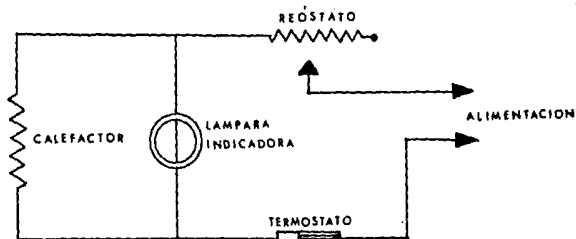
NO CONTROLADO



CONTROLADO

Algunos aparatos también poseen diferentes niveles de -- temperatura y es posible regular la misma dentro de cierto rango. Esto se logra añadiendo un dispositivo llamado reóstato, que no es más que un elemento cuya resistencia puede ser variada manualmente con lo cual la corriente que circula por el calefactor se verá aumentada o disminuída, produciéndose así un mayor o menor calentamiento.

El siguiente diagrama nos muestra un aparato controlado provisto de un reóstato para variar el valor de temperatura.



Desde el punto de vista eléctrico, las fallas en los aparatos que estamos estudiando son muy fáciles de detectar, pues el síntoma más común que se presenta es la ausencia de calentamiento. La causa posible es que el elemento calefactor esté abierto debido a que fue sometido a un calentamiento tal, que quemó alguna parte del mismo. Otra causa puede ser que el cable de alimentación se encuentre abierto o esté despegado de las terminales del calefactor, con lo cual el suministro de corriente al aparato queda suspendido. En todos esos casos, las pruebas de continuidad hechas con un óhmetro, como se verá más adelante, nos dan la pauta a seguir para la corrección de la falla.

Las fallas de origen mecánico están fuera de los alcances del presente trabajo, y su corrección dependerá de la experiencia adquirida en el mantenimiento a través del tiempo.

3.1.2 Aparatos que utilizan motores.

El segundo gran grupo en el cual dividimos a los aparatos

tos electrodomésticos es el de los que utilizan motores.

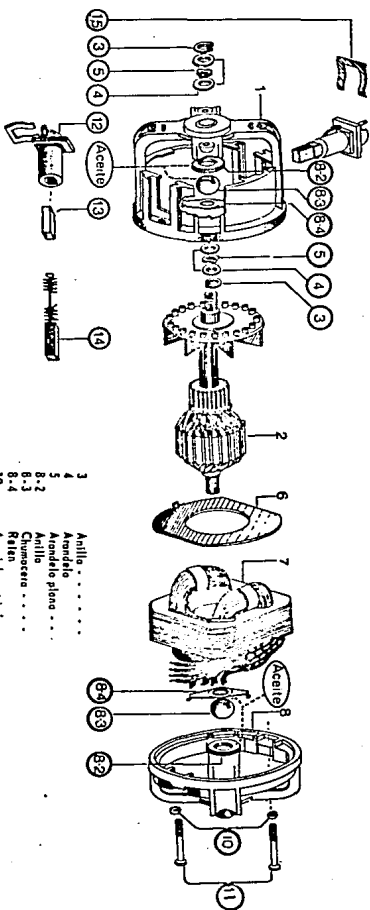
Un motor es un dispositivo que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Dicho en otras palabras, al ser alimentado con electricidad produce movimiento. Ese movimiento es aprovechado con diversos fines. En una licuadora por ejemplo, el movimiento es transmitido a unas aspas, -- las cuales agitan algún líquido. En un ventilador, la función del motor es semejante.

Existen en la actualidad un sinnúmero de aparatos en los cuales el uso de motores eléctricos es esencial. Como se verá en otros capítulos, existen principalmente dos tipos de motores: los de corriente directa y los de corriente alterna. La diferencia entre ellos se estudiará en los capítulos correspondientes, mas por ahora, bástenos saber que la mayoría de los aparatos electrodomésticos utilizan un tipo especial de motor llamado motor universal, el cual -- puede trabajar indistintamente con corriente alterna de baja frecuencia o con corriente directa.

Los motores universales poseen un rango de velocidad que va desde las 5,000 hasta las 15,000 revoluciones por minuto (rpm), pero a menudo y por medio de engranes, éstas velocidades son reducidas. Cuando dicho motor es alimentado con corriente alterna, la frecuencia de ésta no debe exceder a los 60 hertz. Otra de las características de este tipo de motor es que es fabricado en potencias que van desde 1/20 hasta 1 hp.

En las siguientes páginas es mostrado un motor universal y las partes que lo componen, así como también en base a los manuales de servicio de ciertos aparatos electrodomésticos, se ilustran las partes, diagramas eléctricos y de conexiones así como el montaje de algunos aparatos.

MOTOR UNIVERSAL



- 1 Anillo
- 2 Arandelo
- 3 Arandelo plano . . .
- 4 Anillo
- 5 Chumacera
- 6-2 Retén
- 6-3 Retén
- 6-4 Retén
- 10 Arandelo estriado
- 11 Porticoñón
- 12 Canal p./carbón
- 13 Carbón completo
- 14 Seguro
- 15

Licuadora TX-6000 PHILIPS

DATOS TECNICOS

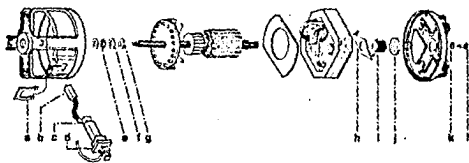
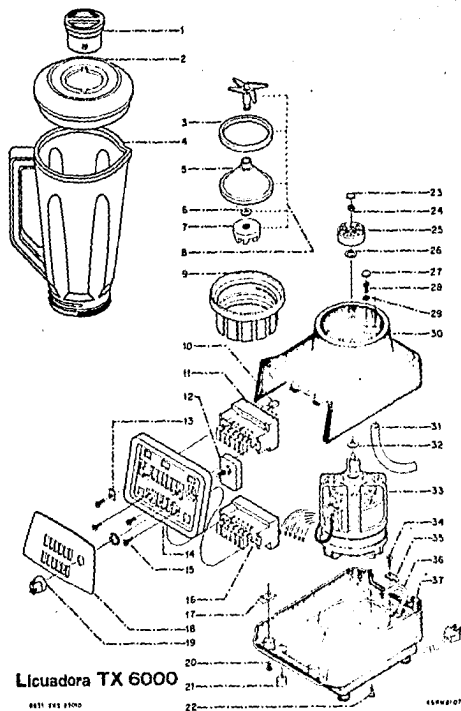
| | |
|------------------------------------|---|
| Tensión de Red 127 V C.A. ± 10% | Dimensiones : Largo : 23 cm. Ancho : 17 cm Altura : 37 cm Peso : 3.4 kg |
| Consumo 600 W | |
| Corriente 4.7 A | Reloj : Ciclo máximo 60 seg. |

LISTA DE PARTES

| | | | | | |
|----|----------------|--------------------|----|----------------|-------------------|
| 1 | 4221 047 37400 | Tapa chica | 31 | 4221 047 37430 | Manguera |
| 2 | 4221 047 37390 | Tapa de Vaso | 32 | 2521 700 01115 | Arandela |
| 3 | 4221 047 05710 | Empaque | 33 | 4221 058 08260 | Motor Conj. |
| 4 | 4221 047 37370 | Vaso | 34 | 2522 163 01043 | Tornillo |
| 5 | 4221 063 29480 | Porta cuchillas | 35 | 4222 040 00470 | Sujetador |
| 6 | 2521 700 01095 | Arandela | 36 | 4221 000 15350 | Cordón |
| 7 | 4221 058 90181 | Cople | 37 | 4221 047 38150 | Gabinete Inferior |
| 8 | 4221 058 06230 | Conjunto cuchillas | | | |
| 9 | 4221 047 37360 | Base de Vaso | | | |
| 10 | MR 502 | Diode | | | |
| 11 | 4221 065 50230 | Interruptor | a | 4221 040 03890 | Seguro |
| 12 | 4221 065 50260 | Reloj | b | 4221 065 50220 | Carbón |
| 13 | 4221 040 04410 | Placa | c | 4221 040 04360 | Canal |
| 14 | 4221 047 37360 | Marco Frontal | d | 4221 047 37460 | Porta Carbón |
| 15 | 2521 123 15001 | Tornillo | e | 4221 040 03850 | Arandela |
| 16 | 4221 065 50240 | Interruptor | f | 2521 700 01004 | Arandela Plana |
| 17 | 2521 996 01006 | Muelle | g | 2521 634 01001 | Anillo |
| 18 | 4221 046 63280 | Placa | h | 4221 040 03900 | Réten |
| 19 | 4221 047 37580 | Perilla | i | 4221 048 40080 | Chumacera |
| 20 | 2521 123 15001 | Tornillo | j | 2521 700 01087 | Anillo |
| 21 | 4221 047 05240 | Pata | k | 2521 616 01005 | Arandela |
| 22 | 2521 124 02001 | Tornillo | l | 2521 198 02004 | Tornillo |
| 23 | 4221 047 37490 | Tapón | | | |
| 24 | 4221 045 12590 | Tuerca | | | |
| 25 | 4221 058 90181 | Cople | | | |
| 26 | 2521 700 01004 | Arandela | | | |
| 27 | 4221 047 36670 | Tapón | | | |
| 28 | 2521 086 01021 | Tornillo | | | |
| 29 | 2521 616 01004 | Arandela | | | |
| 30 | 4221 047 38140 | Gabinete Superior | | | |

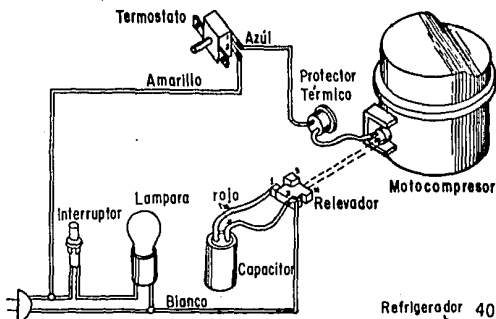
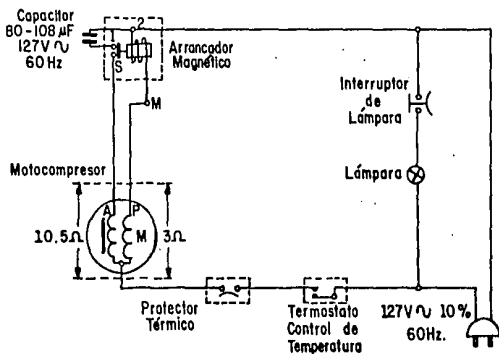
LISTA DE PARTES MOTOR

| | | |
|---|----------------|----------------|
| a | 4221 040 03890 | Seguro |
| b | 4221 065 50220 | Carbón |
| c | 4221 040 04360 | Canal |
| d | 4221 047 37460 | Porta Carbón |
| e | 4221 040 03850 | Arandela |
| f | 2521 700 01004 | Arandela Plana |
| g | 2521 634 01001 | Anillo |
| h | 4221 040 03900 | Réten |
| i | 4221 048 40080 | Chumacera |
| j | 2521 700 01087 | Anillo |
| k | 2521 616 01005 | Arandela |
| l | 2521 198 02004 | Tornillo |

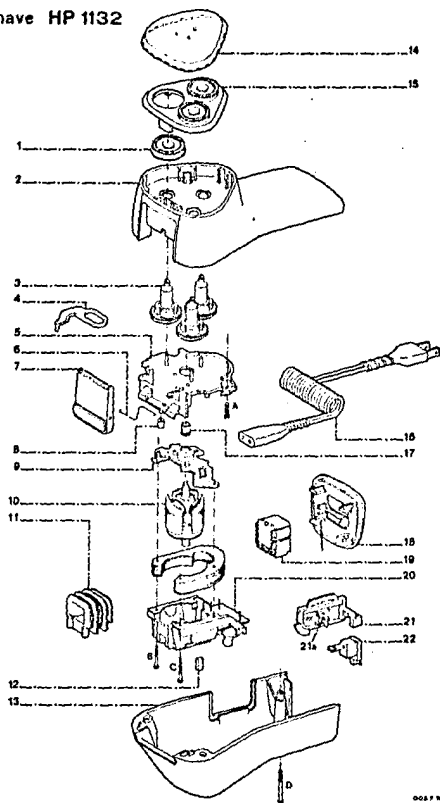


Refrigerador PHILIPS

Diagrama eléctrico y de conexiones



Philshave HP 1132



0057 No. 81 00

**RASURADORA PHILISHAVE
HP 1132**

DATOS TECNICOS

| | | | |
|------------------|-----------------------|---------------|---|
| TENSION DE RED : | 127 V.C.A. ±10% 60 Hz | VELOCIDAD : | 2850 r.p.m. ±10% |
| CONSUMO : | 10 W. | PESO : | 600 gramos aprox. |
| CORRIENTE : | 0.075 A. | DIMENSIONES : | 115 mm. altura, 50 mm. Ancho 71 mm. espesor max. |

LISTA DE PARTES

| | | | | | |
|----|----------------|-------------------|-----|----------------|----------------|
| 1 | 4822 690 30141 | Peine | 14 | 4822 441 10164 | Protector |
| 2 | 4822 441 10434 | Tapa superior | 15 | 4822 441 10165 | Porta peines |
| 3 | 4801 522 37018 | Barra engrane | 16 | 4801 321 17017 | Cordón de red |
| 4 | 4801 404 47059 | Leva | 17 | 4801 522 37019 | Engrane piñón |
| 5 | 4801 404 47061 | Placa | 18 | 4801 441 17063 | Tapa posterior |
| 6 | 4822 492 40568 | Muelle | 19 | 4822 277 20271 | Conmutador |
| 7 | 4822 690 30195 | Cortador plano | 20 | 959/201 | Porta carbones |
| 8 | 4822 325 80056 | Buje | 21 | 4801 411 67014 | Corredora |
| 9 | 4822 404 40303 | Soporte chumacera | 21a | 4801 441 17064 | Panel |
| 10 | 4822 121 00371 | Rotor | 22 | 4822 277 10348 | Interruptor |
| 11 | 4822 362 30034 | Bobina | A | 4822 502 11314 | Tornillo |
| 12 | 959 02FD | Carbón escobilla | B | 4801 502 17031 | Tornillo |
| 13 | 4801 441 17054 | Tapa inferior | C | 4801 502 17022 | Tornillo |
| | | | D | 4801 502 17031 | Tornillo |

**EXPRIMIDOR DE CITRICOS
HR 2276**

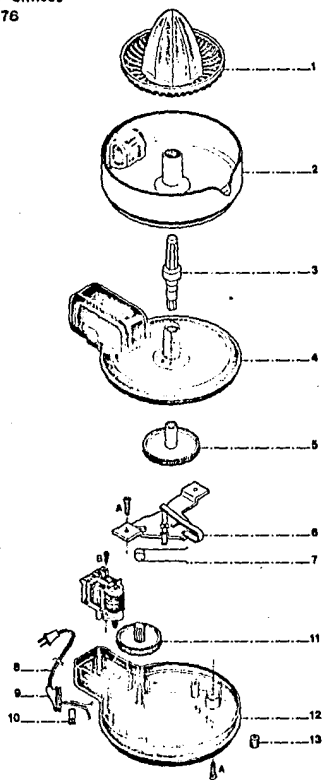
DATOS TECNICOS

| | | | |
|-----------------------|----------------------|---------------|--|
| TENSION DE RED : | 127 V.C.A. ±10% 60Hz | PESO | 550 gramos (aprox.), empacada |
| REVOLUCIONES CORONA : | 70 r.p.m. | DIMENSIONES : | Largo : 20.0 cm Ancho : 13.5 cm Alto : 12.5 cm |
| CONSUMO : | 15 Watts | | |

LISTA DE PARTES

| | | | | | |
|---|----------------|----------------------|----|----------------|------------------|
| 1 | 4827 441 80307 | Corona Calador | 9 | 4822 325 80109 | Protector Cordón |
| 2 | 4822 441 80306 | Jarra Jugo | 10 | 4822 401 10204 | Sujetador |
| 3 | 4822 535 91115 | Barra Transmisión | 11 | 4827 522 31269 | Engrane Motor |
| 4 | 4822 441 80304 | Tapa Gabinete | 12 | 4822 441 80305 | Gabinete |
| 5 | 4822 522 31271 | Engrane Barra | 13 | 4822 462 40374 | Regulón |
| 6 | 4822 464 30098 | Mecanismo Contactos. | A | 4822 502 30076 | Tornillo |
| 7 | 4822 116 40006 | Termo fusible | B | 4822 502 30029 | Tornillo |
| 8 | 4822 321 10084 | Cordón de Red | | | |

Exprimidor de Cítricos
HR 2276



3.1.3 Conexiones a tierra.

Es de particular importancia para el técnico electricista, conocer el cómo y el porqué de las conexiones a tierra realizadas en la mayoría de los aparatos que funcionan con motores eléctricos, así como en la totalidad de las instalaciones eléctricas domésticas e industriales. Tomaremos como ejemplo el caso de una instalación doméstica.

El suministro de energía eléctrica es por medio de un par de conductores, entre los cuales existe una diferencia de potencial de aproximadamente 120 voltios. Uno de los conductores recibe el nombre de "vivo" y el otro de "neutro". Este último está conectado a tierra mediante una varilla de cobre enterrada en un sitio que haga buen contacto con la misma. El potencial eléctrico del neutro es cero voltios. La razón de la conexión a tierra se relaciona directamente con el factor seguridad, tanto del usuario como del equipo.

Veamos ahora el porqué. El cuerpo humano es conductor de la electricidad, y por lo tanto, posee un cierto valor de resistencia entre dos partes cualesquiera que se tomen. Al quedar conectado en un instante dado a un circuito, puede circular a través de él, dependiendo de los puntos de contacto, una corriente eléctrica que puede ser baja, regular o alta, dependiendo de las características de dicho contacto, produciéndose daños que van desde simples quemaduras hasta la muerte misma. Veamos el ejemplo de una persona que toca accidentalmente el vivo de una instalación.

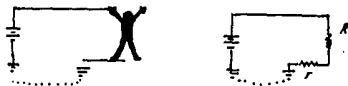
La intensidad de la corriente que circula a través de la persona viene dada por:

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

V = Voltaje de la línea

r = Resistencia entre los pies y tierra

R = Resistencia entre la mano y el pie



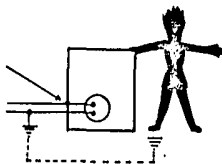
Si la persona está parada sobre una superficie aislante, r tendrá un valor muy grande, y por lo tanto, la corriente I será muy pequeña o cero. Pero si por el contrario, la persona se encuentra sobre un piso húmedo, el cual a su vez esté en contacto con tuberías metálicas de agua, (que están en contacto con tierra), el valor de r será cero y la corriente I que circulará a través del cuerpo alcanzará valores muy peligrosos, ya que una corriente de 10 mA (miliamperes) circulando por el cuerpo humano produce contracción muscular y parálisis. Con corrientes de unos 100 mA se perturba el funcionamiento del corazón, produciéndose un estado llamado fibrilación ventricular, la cual impide el suministro de sangre al cerebro, produciéndose lesiones permanentes si el tiempo de circulación es prolongado. Corrientes más grandes provocan que el corazón se pare com--

pletamente, por lo cual, a los accidentados por una descarga eléctrica de este tipo, es posible, mediante respiración artificial y masaje al corazón, reanimarlos.

Tomemos ahora el caso de una lavadora eléctrica que presenta una falla en el alambrado del motor, cuyo aislamiento se rompió y la cubierta metálica de la lavadora está en contacto con el vivo en forma accidental.

Si una persona llega a tocar la lavadora, se establece una diferencia de potencial V entre la mano y su pie si el piso se encuentra húmedo y se está en contacto con él directamente. Debido a eso, circulará por el cuerpo de la persona una corriente igual a V/R , la cual, dependiendo de su intensidad, puede provocar los efectos descritos con anterioridad.

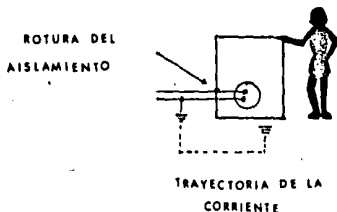
ROTURA DEL
AISLAMIENTO



TRAYECTORIA DE LA
CORRIENTE

Si por el contrario, la máquina está conectada a tierra, cuando una persona toque la cubierta con la mano no correrá peligro alguno, ya que no circulará a través de ella ninguna corriente eléctrica debido a que no existe diferen

cia de potencial entre el punto de contacto y el piso. Circulará una corriente eléctrica llamada corriente de falla, pero no a través de la persona, sino que su trayectoria será por tierra, tal y como se muestra en la ilustración siguiente.



El que uno de los conductores del suministro de energía eléctrica esté al potencial de tierra, permite este tipo de conexiones para protección y seguridad de los usuarios. Por esta razón, es frecuente encontrar enchufes de tres terminales, una de las cuales, mediante un conductor adicional conectado a alguna varilla especial enterrada profundamente en la tierra, proporciona el medio para efectuar las conexiones a tierra de los aparatos que la requieren.

3.2 APARATOS DE MEDICION.

En el trabajo diario del técnico electricista, la medición de cantidades tales como el voltaje, la corriente, la resistencia y la potencia eléctrica son de singular importancia, ya que nos proporcionará una información necesaria para la instalación, operación o reparación de cualquier -

sistema o aparato eléctrico.

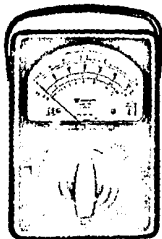
Estudiaremos ahora lo concerniente al funcionamiento de los aparatos de medición o medidores, las partes principales que los componen, su estructura, y lo que es más importante, la forma en que debemos usarlos para realizar nuestras mediciones.

3.2.1 Tipos de medidores. Definición de términos.

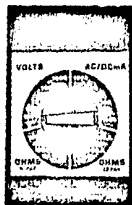
Podemos decir que existen, en forma general, dos grandes grupos de medidores: analógicos y digitales.

El medidor analógico es aquel en el cual la información deseada la obtenemos leyéndola en una escala apropiada a la magnitud medida, y que nos estará siendo indicada por una aguja. Su funcionamiento se basa en principios electromagnéticos.

El medidor digital nos proporciona la lectura directamente de una pantalla pequeña llamada display. Su funcionamiento es a base de circuitos electrónicos.



Medidor analógico



Medidor digital

Estudiaremos en esta sección únicamente los medidores analógicos ya que los digitales están fuera del alcance de este trabajo, mas sin embargo, cabe hacer una aclaración muy importante: cualquiera que sea el tipo de medidor que utilicemos, la forma de realizar las mediciones es la misma.

Dependiendo de la cantidad a medir para la cual se diseña el medidor, éste recibe un nombre específico. Así, se llama amperímetro al medidor de corriente, voltímetro al de voltaje, óhmetro al de resistencia y vatímetro al de potencia.

Existen ciertos términos relacionados con los medidores, los cuales nos dan información acerca de sus características, siendo los más utilizados los que se definirán a continuación.

a. Legibilidad: facilidad con la cual puede leerse la escala de un instrumento.

b. Discriminación: es la menor diferencia entre dos indicaciones que se pueden detectar en la escala del instrumento.

c. Sensibilidad: es la relación del movimiento lineal del indicador en el instrumento al cambio en la variable medida que origina dicho movimiento.

d. Histéresis: un instrumento la presenta cuando para un mismo valor de la excitación, existe una diferencia de lecturas. La histéresis puede ser el resultado de fricción mecánica, efectos magnéticos o térmicos.

e. Exactitud: nos indica la desviación de la lectura respecto a una entrada conocida.

f. Precisión: indica la habilidad para reproducir cier--

tas lecturas con una exactitud dada.

La exactitud se puede mejorar por medio de la calibración, pero no va más allá de la precisión del instrumento, la cual depende de su construcción principalmente. La calibración consiste en ajustar el instrumento de acuerdo a una entrada cuyo valor es conocido de antemano. Dicha entrada recibe el nombre de estándar.

3.2.2 Mecanismos básicos de medición.

Todos los medidores mencionados anteriormente, (amperímetro, voltímetro, óhmetro y vatímetro), basan su funcionamiento en un mecanismo básico, el cual solo mide la corriente que circula a través de él, y que a partir de ciertas modificaciones efectuadas, nos indica la cantidad eléctrica deseada.

Existen varios tipos de mecanismos básicos usados en los medidores. Estos son:

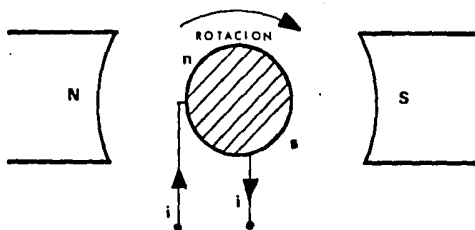
1. Mecanismo de bobina móvil o de D'Arsonval.
2. Mecanismo de núcleo de hierro o hierro móvil.
3. Mecanismo electrodinámico.
4. Mecanismo de rectificador.
5. Mecanismo térmico o de alambre caliente.
6. Mecanismo de termopar.

A continuación, se estudiará cada uno de estos mecanismos, el principio en el cual basan su funcionamiento, sus partes principales y las características de los mismos.

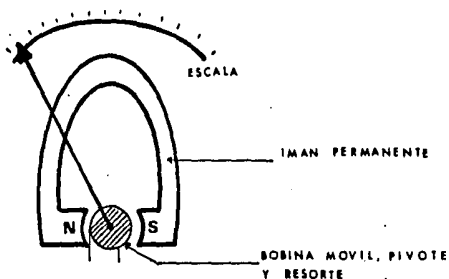
1. Mecanismo de bobina móvil o de D'Arsonval.

Consta de una bobina de alambre muy delgado enrollado - sobre un soporte de aluminio ligero. Un imán permanente rodea la bobina. El marco está montado en un pivote que permite libertad de giro entre los polos del imán permanente.

Cuando circula corriente por la bobina, ésta actúa como un imán y entonces es repelida por el imán permanente. La fuerza de repulsión depende de la intensidad de la corriente que circula por la bobina. A mayor corriente, mayor fuerza de repulsión. Esto, obviamente, hace que el marco de aluminio sobre el cual está montada la bobina, gire sobre el pivote.



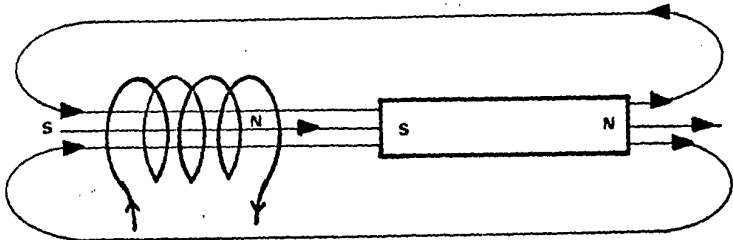
Ajustando una aguja al marco de la bobina y utilizando una escala calibrada adecuadamente, puede medirse la cantidad de corriente que fluye por la bobina.



El uso de este mecanismo en los medidores está limitado solo para realizar mediciones de corriente directa, pues cuando fluye una corriente alterna por la bobina no existe fuerza alguna sobre ella.

2. Mecanismo de núcleo de hierro o hierro móvil.

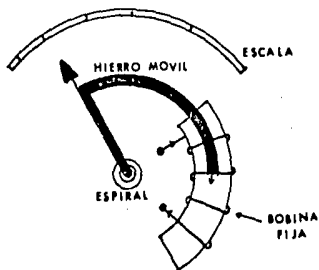
Si se tiene una bobina por la cual circula una corriente y una barra de hierro cerca de ella, el campo magnético -- producido por la bobina hace que se magnetice el hierro. Existe una fuerza de atracción sobre la barra de hierro, la cual aumenta al aumentar la corriente que circula por la bobina ya que el campo magnético es de mayor intensidad.



El mecanismo de hierro móvil utiliza este principio, ya que consta de un núcleo de hierro dulce, el cual es colocado parcialmente dentro de una bobina fija. El núcleo se conecta a un pivote y a un resorte restaurador, lo cual le permite girar, entrando y saliendo de la bobina.

Cuando fluye una corriente a través de la bobina, el campo magnético producido hace que se magnetice el núcleo y sea atraído. La distancia que el núcleo se mueva con respecto a la bobina, dependerá de la cantidad de corriente -

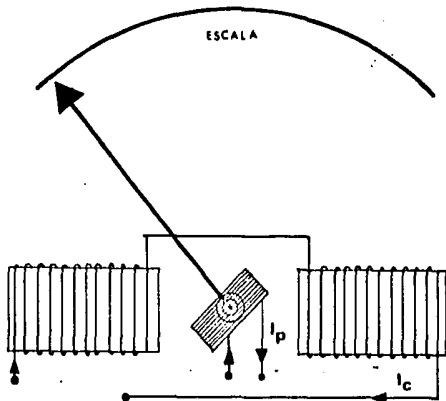
que fluya por ella. Una aguja conectada al núcleo y una escala calibrada adecuadamente nos indicu la cantidad de corriente que circula por la bobina.



Este tipo de mecanismo puede usarse para mediciones de corriente directa y alterna indistintamente. En la actualidad no es muy utilizado en medidores debido a su poca precisión y sensibilidad.

3. Mecanismo electrodinámico.

Este mecanismo es muy parecido al de bobina móvil, con la variante de que en lugar de imán permanente posee un electroimán. Ambas bobinas, una fija y otra móvil, son conectadas de tal forma que la corriente a medir fluye por ambas y se presente una fuerza repulsiva sobre la bobina móvil que la haga girar.



La bobina que sustituye al imán permanente consta de pocas vueltas de alambre grueso devanado sobre un núcleo de material magnético que refuerza el campo producido por ella. La móvil tiene muchas vueltas de alambre muy delgado enrollado sobre un marco, por lo general de aluminio, conectado a un pivote de la misma manera que en el mecanismo de D'Arsonval.

El mecanismo electrodinámico es usado para medición de corriente directa y para alterna de baja frecuencia, en un rango comprendido entre 25 y 125 hertz.

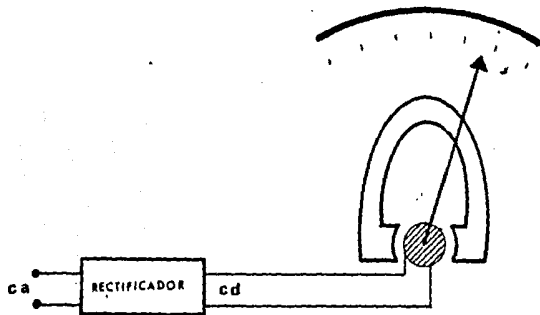
4. Mecanismo de rectificador.

Es posible transformar una corriente alterna en corriente directa. Al proceso se le llama rectificación, y el dispositivo encargado de hacerlo recibe el nombre de rectificador. Este funciona en base a unos componentes electrónicos llamados diodos, los cuales tienen un tamaño muy peque

no para valores bajos de corriente.

El medidor de bobina móvil es uno de los más sensibles y precisos que existen, mas sin embargo, como ya se comentó, su aplicación se reduce solo a mediciones de corriente directa.

Si mediante un rectificador transformamos una corriente-alterna en directa, podemos aprovechar las ventajas que -- presenta el medidor de bobina móvil en aplicaciones tanto-de corriente directa como de alterna, en un rango de fre--cuencias de hasta 20,000 hertz.

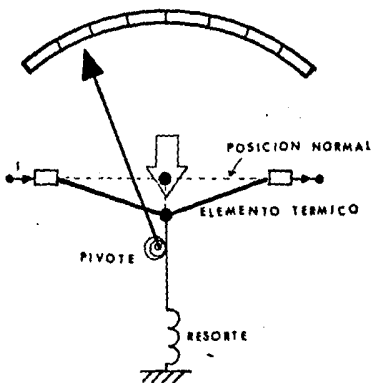


5. Mecanismo térmico o de alambre caliente.

Si una corriente eléctrica fluye por un alambre, éste se calentará debido al efecto Joule. El calentamiento aumentará con el cuadrado de la corriente (I^2R). El alambre, al calentarse, sufre una dilatación de origen térmico, es decir, se expande a causa de la temperatura elevada. A mayor

calentamiento, mayor expansión.

El mecanismo térmico o de alambre caliente, basa su funcionamiento en lo anterior. Se emplea un alambre por el cual circulará la corriente a medir y unido a éste, un segundo alambre y un resorte.



Al circular la corriente eléctrica por el primer alambre éste se dilatará y el segundo alambre, junto con el resorte, lo jalarán, sacándolo de su posición original. Conectando una aguja al segundo alambre, ésta se moverá al expanderse el alambre por el que circula la corriente eléctrica. El movimiento de la aguja es proporcional al alarga

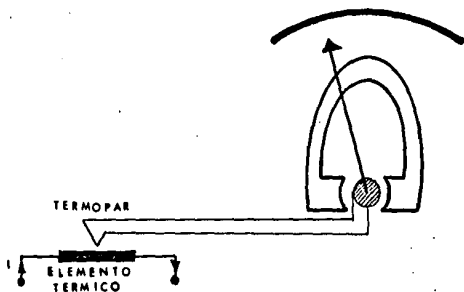
miento del alambre. La dilatación del alambre es proporcional al calentamiento que a su vez es proporcional a la corriente. Una escala adecuada completa este mecanismo, el cual es utilizado para mediciones de corriente directa y alterna, ya sea de alta o baja frecuencia.

6. Mecanismo de termopar.

Los mecanismos vistos hasta el momento basan su funcionamiento ya sea en efectos electromagnéticos o electrotérmicos. Este último mecanismo que estudiaremos aprovecha ambos efectos.

Un termopar es un dispositivo que al calentarse produce una diferencia de potencial proporcional al calentamiento al que es sometido.

Si hacemos circular una corriente eléctrica por un alambre de una aleación de platino como el usado en el mecanismo anterior, éste se calentará. Poniendo en contacto el alambre con un termopar, tendremos una diferencia de potencial que podemos aprovechar para alimentar la bobina móvil de un mecanismo de D'Arsonval, obteniendo así lecturas proporcionales a la corriente que se quiera medir.

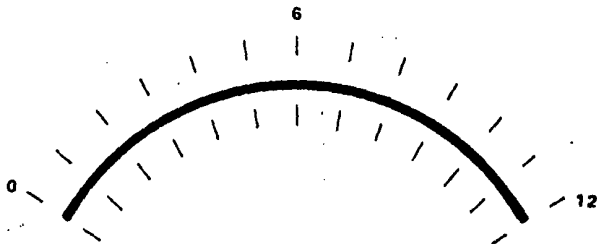


El mecanismo de termopar es muy utilizado para mediciones de corriente alterna de muy alta frecuencia, mas sin embargo, también es capaz de medir corriente directa.

3.2.3 Escalas.

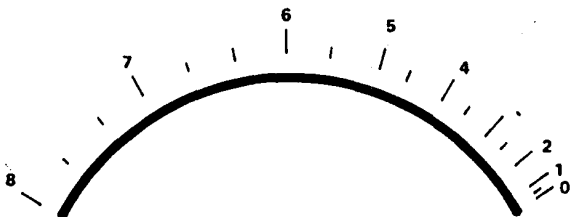
Los mecanismos descritos anteriormente deben utilizar una escala que bien puede ser lineal o no lineal.

Una escala lineal es aquella que está graduada en su totalidad en divisiones iguales. Es usada en los mecanismos de bobina móvil y electrodinámico.



La desviación de la aguja sobre la escala es directamente proporcional a la corriente que fluye a través de la bobina del aparato en cuestión. Cuando toda la corriente permisible circula por el mecanismo, la aguja recorre toda la escala. Si solo la mitad de la corriente fluye, la aguja se moverá la mitad de la distancia total de la escala. La razón de ello es que el campo magnético de la bobina móvil aumenta en proporción directa a la corriente de manera que la interacción entre campos aumenta proporcionalmente también.

Una escala no lineal es aquella en la cual el espacio entre las divisiones no es igual. Este tipo de escala es la utilizada en los mecanismos de núcleo de hierro, térmico y de termopar. Las variaciones en la escala de estos mecanismos varía en forma cuadrática. Esta es la razón por la cual los números en el extremo donde están los valores bajos están muy juntos y se separan conforme nos acercamos al extremo opuesto.



La razón por la cual los mecanismos antes mencionados utilizan este tipo de escala se explica a continuación.

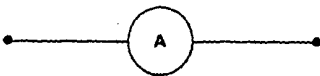
El de núcleo de hierro funciona en base a la fuerza de a tracción existente entre una bobina fija y un pedazo de material magnético, el cual actúa como un imán al estar en presencia del campo de la bobina. Como se sabe, la fuerza varía de acuerdo al cuadrado de la distancia de separación y por lo tanto, las variaciones en el movimiento de la aguja son proporcionales a la fuerza ejercida sobre el núcleo de hierro, ya que se mueve junto con él.

En los mecanismos térmico y de termopar, la oscilación de la aguja es proporcional a la cantidad de calor producida en el alambre calefactor, y como el calentamiento en d

cho elemento es proporcional al cuadrado de la corriente - que circula por él, según la ley de Joule, la escala utilizada debe variar en forma cuadrática.

3.2.4 El amperímetro.

Un amperímetro es un instrumento que se utiliza para medir la intensidad de las corrientes eléctricas. Su símbolo en los diagramas es el siguiente:



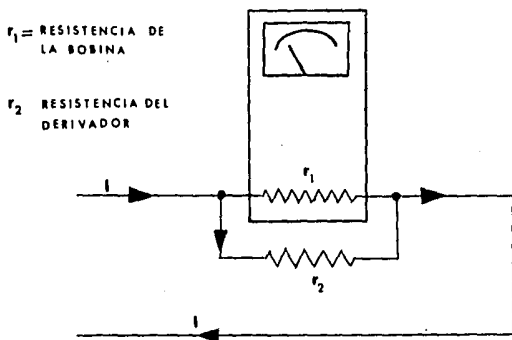
Existen, básicamente, dos formas de realizar mediciones de corrientes eléctricas en un circuito. La primera de ellas, usada casi exclusivamente para corriente directa, -- consiste en interrumpir el circuito por el cual circula la corriente a medir, e intercalar el amperímetro en la parte interrumpida.



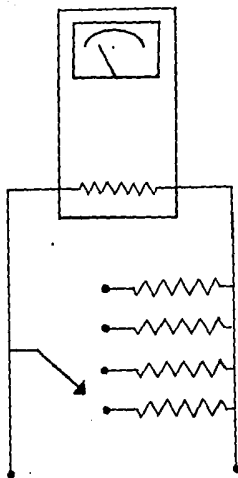
Los tipos de mecanismos más usados en los amperímetros - que trabajan en estas condiciones son el de bobina móvil y el electrodinámico. Como ya se mencionó, ambos mecanismos - trabajan con una bobina móvil; la cual no resiste el paso de corrientes mayores de 10 miliamperes ya que se quemaría

el delgado alambre que la forma. Como el instrumento debe ir intercalado y toda la corriente debe circular por él, - es necesario el uso de unos aditamentos llamados derivadores o shunts, los cuales son elementos con determinada resistencia y están conectados en paralelo con el medidor.

La función de los derivadores es la de desviar la mayor parte de la corriente a través de ellos y permitir el paso de una pequeña porción de la corriente total a medir a través de la bobina del mecanismo.



Cada derivador, al tener un valor fijo de resistencia, - es útil sólo para un rango específico de valores. El alcance del medidor se verá entonces limitado y se tendría que intercambiar derivadores con demasiada frecuencia. Para evitar esto, se utiliza un conjunto de derivadores integrados al amperímetro y por medio de un interruptor llamado - conmutador de rango, se selecciona el derivador adecuado - al rango de valores que se desee medir. El medidor recibe el nombre de amperímetro de alcance múltiple.

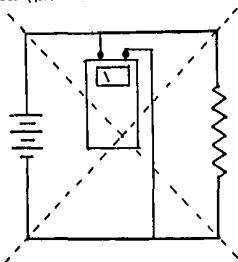


El máximo valor que puede medirse con un amperímetro de alcance múltiple, es de aproximadamente 30 amperes. Para medir corrientes mayores, es necesario adaptar externamente un derivador especial, el cual, por su tamaño y debido al calentamiento a que es sometido, no puede estar dentro del medidor.

Para el manejo correcto del instrumento es necesario hacer las siguientes consideraciones:

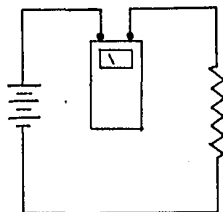
a. Nunca debe conectarse en paralelo con la fuente de alimentación o con la carga. Si se conectara un medidor de corriente en esa forma, circularía una corriente muy elevada por el mismo, dañándose seriamente la bobina y el derivador usados. Por lo tanto, siempre hay que tener presente

que el medidor debe conectarse en serie con la fuente y la carga.

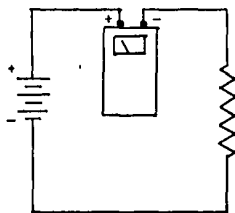


CONEXION
INCORRECTA

CONEXION
CORRECTA

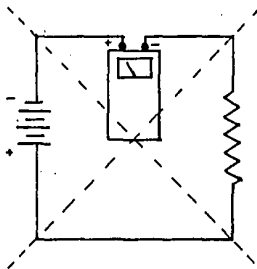


b. Cuando se realizan mediciones de corriente directa, siempre debe considerarse la polaridad. Los amperímetros tienen sus entradas marcadas con signos (+) y (-). La terminal marcada con el signo (-) debe estar conectada a la terminal negativa o al punto de potencial más bajo del circuito, y la terminal (+) debe conectarse a la terminal positiva o al punto de potencial más alto del circuito. Lo anterior determina el sentido de la corriente que fluye a través de la bobina del medidor, ya que si se conecta en forma inversa, la aguja indicadora se moverá en sentido inverso golpeando el perno de retención que tiene, llegándose, en algunos casos, a doblar la aguja.



CONEXION
CORRECTA

CONEXION
INCORRECTA

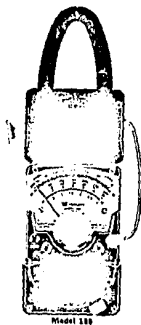


Quando se efectúan mediciones de corriente alterna, no es necesario considerar la polaridad, ya que ésta cambia constantemente con el tiempo. Los medidores diseñados para usarse con corriente alterna no tienen, por tanto, signos más y menos marcados en sus terminales.

c. Por último, nunca debe conectarse el medidor a un circuito si no se conoce aproximadamente el valor máximo de corriente que puede fluir por el circuito. Si no se tiene la seguridad sobre ese valor, hay que comprobarlo mediante los diagramas, y aún así, es recomendable conectar el medidor con un rango mas alto que el necesario. Si se usa uno de alcance múltiple, se ajusta en su escala más alta y se disminuye el rango hasta obtener una oscilación media. En caso de no hacerlo, una corriente muy alta podría quemar -

la bobina, o en el mejor de los casos, la aguja indicadora sufrirá daños al golpearse con el perno de retención derecho en la parte de la escala que indica los valores altos.

Existen algunas situaciones en las cuales es inconveniente y a veces, casi imposible abrir un circuito para realizar las mediciones de corriente. En esos casos se utiliza un instrumento llamado amperímetro de abrazadera, el cual permite realizar mediciones sin abrir el circuito, con la única condición de que la corriente sea alterna. Dicho amperímetro está constituido por un mecanismo básico y un núcleo de hierro con una bobina devanada alrededor de él. Un gatillo en el núcleo permite abrir y cerrar éste, de manera que uno de los conductores del circuito a medir se pueda colocar dentro del núcleo.



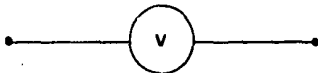
La corriente que circula por el conductor produce un campo magnético alrededor de él. Como dicha corriente es al--

terna, el campo producido varía con el tiempo, y según la ley de Faraday, se induce una corriente en el devanado del núcleo, la cual circulará por un mecanismo de medición del tipo de rectificador, obteniéndose una lectura proporcional a la corriente circulante en el conductor original.

Este tipo de medidores son muy utilizados, ya que además de que permite hacer mediciones sin interrumpir el circuito, éstas pueden alcanzar valores muy elevados, hasta cientos de amperes, ya que esas corrientes no fluyen directamente a través del medidor o derivadores del mismo.

3.2.5 El voltímetro.

Un voltímetro, es un instrumento que se emplea para medir voltajes. Su símbolo es:



Un mecanismo básico, como sabemos, sólo es capaz de medir corrientes eléctricas, mas sin embargo, la bobina de cualquier mecanismo utilizado tiene una resistencia fija, y cuando fluye una corriente eléctrica a través de ella, se produce una caída de voltaje en el medidor. Según la ley de Ohm, la caída de voltaje es directamente proporcional a la corriente que circule por la bobina y a la resistencia de la misma.

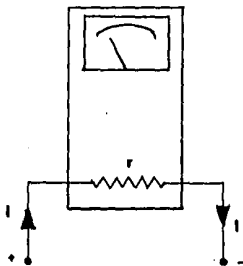
$$V = IR$$

Por lo tanto, si calibramos la escala del medidor de tal

manera que las unidades sean de voltaje en vez de las de corriente, nuestro instrumento puede ser capaz de medir -- voltajes en cualquier parte de un circuito.

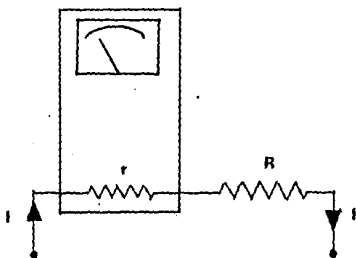
Sabemos, también, que la resistencia de las bobinas de los mecanismos de medición así como la corriente que puede circular por ellos son muy pequeñas, lo cual limitaría --- nuestras mediciones únicamente a valores muy bajos de voltaje. Ahora bien, el rango de voltajes puede ampliarse si agregamos un elemento con una resistencia elevada llamado-resistor multiplicador, el cual conectamos en serie con la bobina del medidor. Si lo hacemos, la resistencia total será la suma de ambas resistencias, y al multiplicarse por un valor pequeño de corriente, que es la que en realidad - pasa por el medidor, la caída de voltaje será mayor, am--- pliándose de esta manera el rango de valores. Trataremos - de explicar lo anterior tomando las siguientes situacio--- nes.

Primeramente, tenemos un mecanismo básico cuya resistencia en la bobina, r , es de 1,000 ohms. Si hacemos circular por el instrumento una corriente de 1 miliampere, la caída de voltaje será de 1 voltio.



$$\begin{aligned} r &= 1,000 \text{ ohms} \\ I &= 1 \text{ mA} \\ V &= Ir = 1 \text{ voltio} \end{aligned}$$

Si ahora agregamos un resistor multiplicador de 9,000 -- ohms en serie con la bobina, la resistencia total será --- $r + R$, igual a 10,000 ohms. Si hacemos circular la misma -- corriente de 1 miliampere, la caída de voltaje será ahora -- de 10 voltios.



$$r = 1,000 \text{ ohms}$$

$$R = 9,000 \text{ ohms}$$

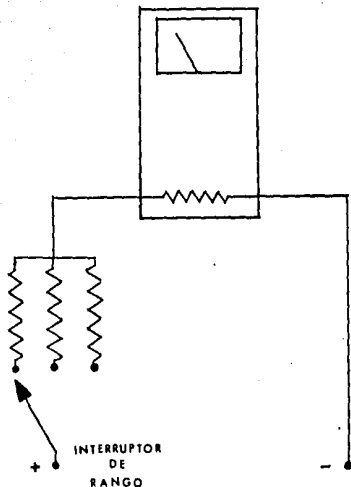
$$I = 1 \text{ mA}$$

$$V = I(r + R) = 10 \text{ v}$$

Podemos, entonces, utilizar un medidor de 1 miliampere y 1,000 ohms para medir voltajes en un rango comprendido entre 0 y 10 voltios, ya que nuestro resistor multiplicador hará que la aguja recorra toda la escala cuando se aplique al medidor un voltaje de 10 voltios.

Al igual que los amperímetros, el uso de voltímetros de un solo rango resulta impráctico y costoso. Se emplean, de manera similar, los voltímetros de alcance múltiple, los cuales tienen varios resistores multiplicadores integrados que pueden conectarse internamente en serie con la bobina. Un interruptor de rango accionado desde el exterior, permite seleccionar el resistor adecuado a la escala deseada.

Una característica importante de los voltímetros es su sensibilidad, la cual se expresa en "ohms por volt", (ohm/volt), y cuanto más alto es ese valor, más sensible es el medidor.



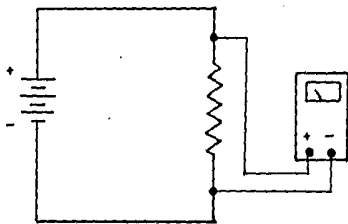
Los ohms/volt de un medidor se obtienen dividiendo la re sistencia del instrumento por el voltaje máximo de la esca la. En otras palabras, es la resistencia $(r + R)$ necesaria para la oscilación total de la escala. Por ejemplo, el medidor de 1 miliampere y 10,000 ohms, nos indicará un valor de 10 voltios cuando la oscilación de la aguja en la esca la es total. Por lo tanto, su clasificación ohms/volt es - de 10,000/10, lo que dá un valor de 1,000. En los medido-- res de alcance múltiple, dicho valor permanece invariable-- para todos los rangos del mismo.

Los voltímetros siempre deben conectarse en paralelo con la parte del circuito que se mide. Debido a su constitu--- ción, el voltímetro corre menos peligro de sufrir daño si-- se conecta en forma incorrecta, sin embargo, la lectura re

sultante será errónea.

Cuando se efectúan mediciones de voltaje con corriente directa, debe conectarse el voltímetro con la polaridad correcta, es decir, su terminal negativa conectada a la terminal negativa o punto de potencial más bajo del circuito y viceversa. Igual que con los amperímetros, una conexión con polaridad opuesta hace que la bobina gire en sentido contrario y la aguja puede doblarse al golpear el perno de retención.

Si se efectúan mediciones en un circuito que trabaja con corriente alterna, no hay necesidad de considerar la polaridad cuando se conecta el voltímetro adecuado al circuito en cuestión.



FORMA CORRECTA DE CONECTAR UN VOLTÍMETRO DE CD

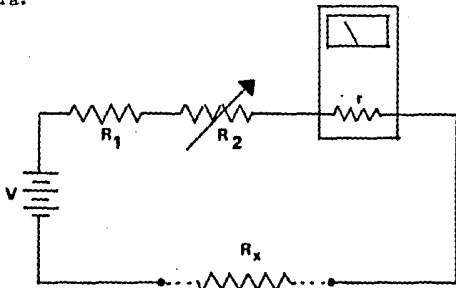
3.2.6 El óhmetro.

Un óhmetro es un instrumento que mide, directamente, la resistencia de un circuito o de un elemento en particular.

La construcción de estos medidores no es tan simple como la de los voltímetros y amperímetros estudiados anterior--

mente. Un óhmetro está constituido por un mecanismo de bobina móvil, resistores para limitar la corriente y una fuente de corriente directa de bajo voltaje y poca potencia. De acuerdo a la forma en que se conectan estos elementos y la resistencia a medir, existen dos tipos diferentes de óhmetros: el óhmetro en serie y el óhmetro en derivación.

En el óhmetro en serie, la conexión de los elementos del medidor y la resistencia a medir se realiza, como su nombre lo indica, en serie. La siguiente ilustración nos lo muestra.



- r = Resistencia de la bobina
- R_1 = Resistor limitador de corriente
- R_2 = Resistor variable
- R_x = Resistencia a medir (no conocida).
- V = Voltaje de la fuente

Para entender el funcionamiento de este aparato, tomaremos un caso particular en el cual los valores de los elementos son los siguientes:

$r = 100$ ohms

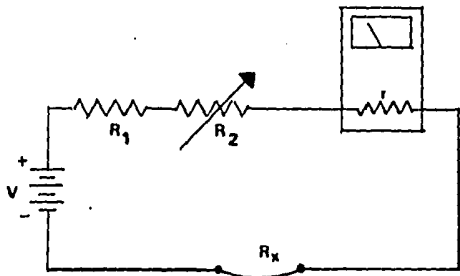
$R_1 = 4,000$ ohms

$R_2 =$ Resistor variable de 0 a 1,000 ohms

$V = 4.5$ voltios

Una corriente de 1 miliampere producirá una desviación - máxima en la escala del mecanismo.

La resistencia R_x tendrá un valor de cero si se puentean los puntos a los cuales se conecta ésta. Eso se realiza físicamente uniendo las puntas con las cuales conectamos la resistencia a medir con el óhmetro. Para esta situación, - la corriente que circulará será máxima, o sea, 1 mA, única mente si R_2 tiene un valor de 400 ohms.



$$R_{\text{total}} = r + R_1 + R_2$$

$$\text{si } R_2 = 400 \text{ ohms} \quad R_{\text{total}} = 4,500 \text{ ohms}$$

$$I = \frac{V}{R_{\text{total}}} = \frac{4.5}{4,500} = 1 \text{ miliampere}$$

La aguja del medidor, para una resistencia cero, recorre

rá toda la escala. Se podría pensar que en lugar de una resistencia variable R_2 se podría utilizar una fija de 400 ohms, mas sin embargo, no se hace debido a que el voltaje de la fuente disminuye con el tiempo. Si en lugar de 4.5 voltios tenemos un valor más pequeño, la corriente que circula por la bobina ya no será de 1 miliampere, y por lo tanto, la aguja no recorrerá toda la escala, y para un valor cero de resistencia, la aguja marcará en la escala un valor distinto. Pero si tenemos un resistor variable, al disminuir el voltaje de la fuente y unir las puntas del medidor, podemos ajustar manualmente la resistencia R_2 reduciendo su valor hasta que la corriente sea de 1 miliampere y la aguja marque cero en la escala.

El procedimiento anterior recibe el nombre de ajuste en cero del óhmetro.

Ahora veamos cómo funciona nuestro instrumento cuando se conecta una resistencia para su medición. Suponemos los mismos valores de los elementos del óhmetro. Al conectar la resistencia R_x , la resistencia total de nuestro arreglo será la suma de todas las resistencias ya que éstas se encuentran en serie.

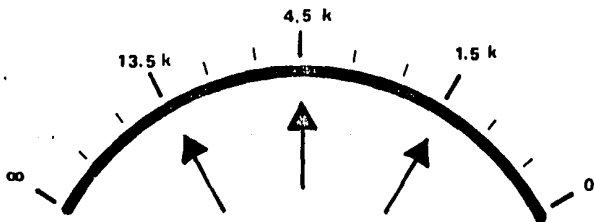
Si R_x tiene un valor de 1,500 ohms, la resistencia total será entonces de 6,000 ohms. La corriente que circulará por nuestro óhmetro será de 0.75 miliamperes, la cual es tres cuartas partes de la corriente total, y por lo tanto, la aguja de nuestro mecanismo recorrerá tres cuartas partes de la escala.

Si tomamos ahora R_x de 4,500 ohms, la resistencia total será 9,000 ohms y la corriente de 0.5 miliamperes, la mitad de la corriente total, lo que hará recorrer a la aguja

la mitad de la escala.

Si por último, R_x tiene un valor de 13,500 ohms, la resistencia total será de 18,000 ohms y la corriente de 0.25 miliamperes, una cuarta parte de la corriente total, lo cual producirá, por supuesto, que la aguja de nuestro medidor recorra una cuarta parte de la escala total.

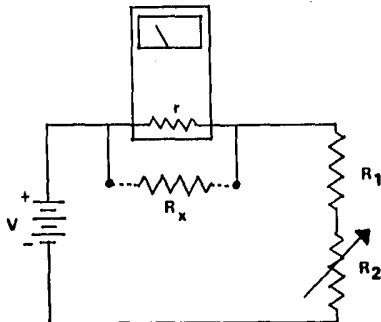
Si utilizamos el prefijo kilo, una resistencia de 1,000-ohms será igual a un kilo-ohm, y expresando en una escala los valores vistos anteriormente, tendremos:



Escala de un óhmetro en serie mostrando la lectura para tres valores de R_x . Nótese la no linealidad de la escala y la posición del cero.

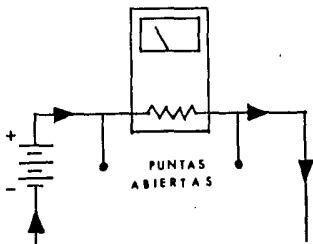
La escala de un óhmetro en serie será, pues, una escala no lineal en la cual los valores más altos se encuentran en la parte izquierda. El símbolo ∞ significa que el valor de la resistencia es demasiado grande para que lo mida el instrumento, debido a que un valor muy elevado de resistencia para R_x hará circular por la bobina móvil una corriente tan pequeña que la aguja no se moverá.

El óhmetro en derivación utiliza los mismos elementos -- que uno en serie, con la variante de que la resistencia a medir se coloca en paralelo con el mecanismo.



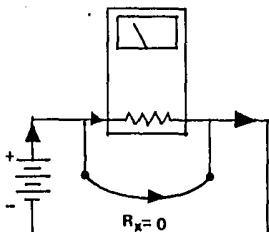
- r = Resistencia de la bobina
- R_1 = Resistor limitador de corriente
- R_2 = Resistor variable
- R_x = Resistencia a medir (desconocida)
- V = Voltaje de la fuente

Quando las terminales a las cuales se conecta R_x se encuentran abiertas, equivale a tener una resistencia infini

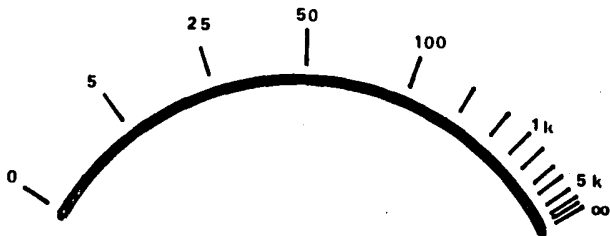


tamente grande, y toda la corriente circula por el mecanismo lo que hará recorrer toda la escala a la aguja indicada.

Si por el contrario, puenteamos las terminales, toda la corriente circulará por el puente, fuera del mecanismo, lo cual hará que la aguja no se mueva y el valor cero en la escala se encontrará al lado izquierdo. El ajuste del valor R_2 se realizará cuando no esté conectada R_x .



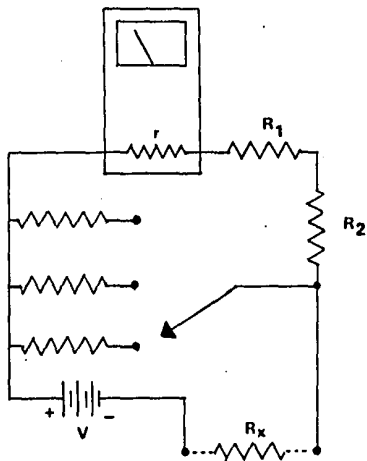
Si realizamos un análisis similar al hecho con el óhmetro en serie, se observará que la escala también es no lineal, pero a diferencia del primero, los valores altos son los que se encuentran más aglomerados en la parte derecha, y los valores pequeños ocupan mayor espacio en la escala.



Eso permite realizar mediciones de valores bajos de resistencia con mucha mayor precisión con un óhmetro en derivación que con uno en serie.

Al igual que con los voltímetros y amperímetros, los óhmetros de un solo rango son poco prácticos, empleándose, por lo general, los óhmetros de alcance múltiple.

En un instrumento de este tipo, el alcance múltiple se logra empleando un conjunto de resistencias para cada rango, los cuales siempre serán múltiplos de 10. La siguiente ilustración nos muestra un óhmetro de alcance múltiple con el interruptor de rango en una posición arbitraria, mostrándose también, las corrientes circulantes por el aparato en esa situación.

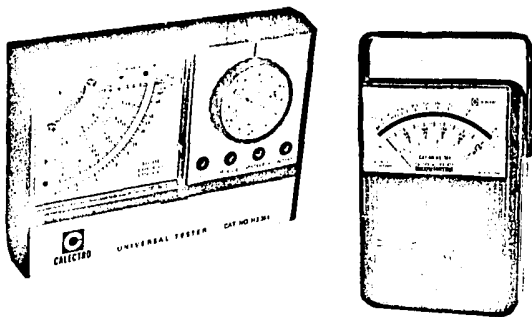


El empleo de un óhmetro no solo se limita a mediciones de resistencia de un elemento en particular, sino que nos-

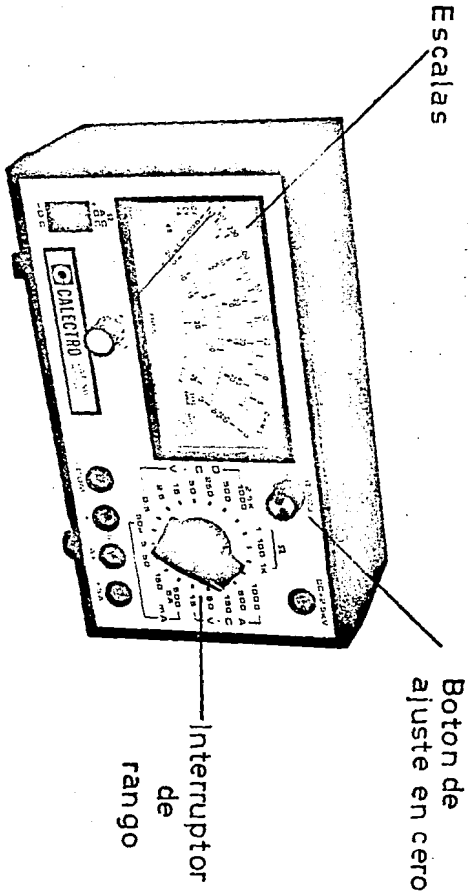
sirve para detectar circuitos abiertos o en corto. La máxi ma precaución que debe tomarse, es la de desenergizar el - circuito al que se realizará la medición, desconectando el suministro de energía y descargando los capacitores exis-- tentes, ya que de lo contrario, el instrumento puede su--- frir serios daños.

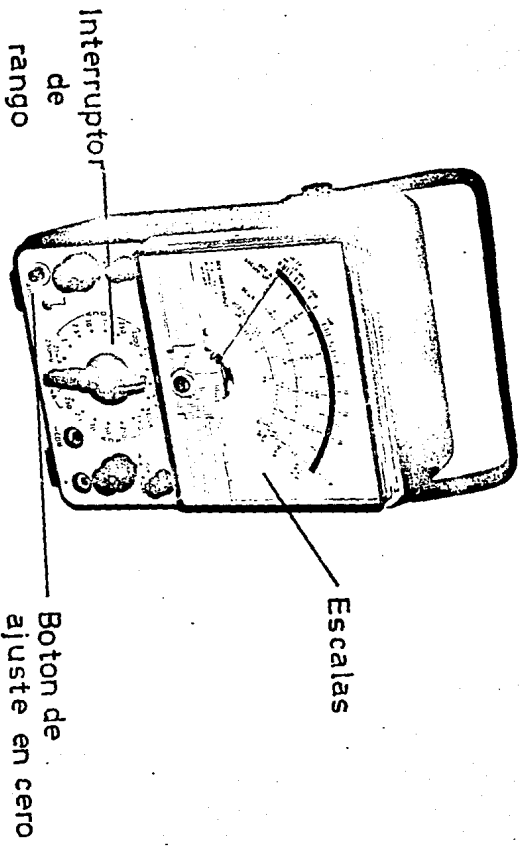
3.2.7 El multímetro.

El multímetro es uno de los instrumentos de medición más usado por técnicos e ingenieros ya que permite, con un so- lo aparato, realizar mediciones de voltaje, corriente y re sistencia. Está compuesto, por lo tanto, de un amperíme--- tro, un voltímetro y un óhmetro contenidos en una caja. -- Los circuitos utilizados en cada uno de ellos son casi i-- dénticos a los hasta ahora estudiados, con la particulari- dad de que el mecanismo básico es el mismo para todos.



Multímetros comerciales





Interruptor
de
rango

Escalas

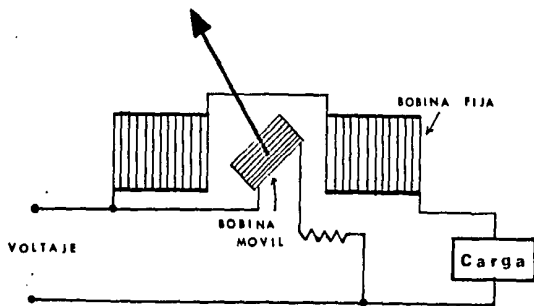
Boton de
ajuste en cero

3.2.8 El vatímetro.

Un vatímetro es un instrumento que sirve para medir la potencia eléctrica.

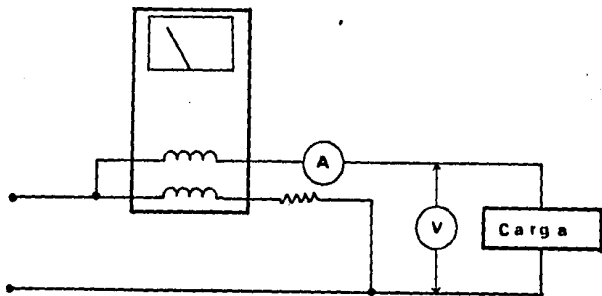
La potencia eléctrica consumida por una carga, es igual al producto del voltaje de alimentación por la corriente demandada, siempre y cuando la fuente sea de corriente directa, o bien, que sea de corriente alterna pero con una carga resistiva. En otros casos, al trabajar con corriente alterna, debido a que la carga produce un desfaseamiento entre voltaje y corriente (cap. 2), el producto de ambos nos dá potencia aparente en lugar de potencia real. Las lecturas realizadas con el vatímetro nos indican siempre potencia real.

Un vatímetro consta, esencialmente, de un mecanismo electrodinámico, el cual, de acuerdo a la forma en que se conectan las bobinas fija y móvil, actúa como una mezcla de voltímetro y amperímetro, dando una medida proporcional al producto IV .



Para usar el mecanismo electrodinámico como vatímetro, - conectamos las dos bobinas fijas de la misma manera que la bobina de corriente de un amperímetro, y su bobina móvil - como la bobina de voltaje de un voltímetro. Se conecta en serie con la bobina de voltaje una resistencia de valor -- muy elevado dentro del aparato, la cual realiza la misma - función que la resistencia que se usa en un voltímetro ordinario.

Las bobinas fijas y la móvil de un vatímetro tienen resistencia, lo cual produce ciertas pérdidas de potencia, - las cuales deben considerarse, ya que de lo contrario, las lecturas realizadas serán incorrectas. Dichas pérdidas vienen indicadas en el propio medidor o en los datos proporcionados por el fabricante. Al realizar las mediciones, -- las pérdidas de potencia indicadas deben restarse a la potencia leída en la escala. Existen, sin embargo, los vatímetros compensados en los cuales las pérdidas están consideradas, de manera que pueden pasarse por alto al usar el medidor.



Cuando se utiliza un vatímetro, ya sea con corriente directa o con alterna, existe la posibilidad de que sufra una sobrecarga en alguna de sus partes, ya sea la del voltaje o la de la corriente, sin que el aparato marque el máximo. Con el fin de saber si los elementos de un vatímetro - están siendo utilizados dentro de su margen de seguridad, - es recomendable incluir un amperímetro y un voltímetro en el circuito, tal y como se mostró en el diagrama anterior.

3.3 DISPOSITIVOS DE USO GENERAL.

3.3.1 Resistores.

Los resistores, a menudo llamados simplemente resisten--cias, son dispositivos utilizados para limitar la corrien--te eléctrica que circula por un circuito. Su funcionamien--to está basado en la resistencia que poseen ciertos mate--riales con los cuales se fabrican, siendo los más utiliza--dos el carbón, el nicromo, la manganina y el constantán.

Podemos clasificar a los diferentes tipos de resistores--existentes de la siguiente manera:

A. FIJOS: de composición
de alambre
de película

B. VARIABLES: reóstatos
potenciómetros

C. AJUSTABLES

D. CON DERIVACIONES

Encontramos en los resistores ciertas características, - las cuales son una valiosa información para elegir el resistor adecuado a un uso en particular. Estas características son las siguientes:

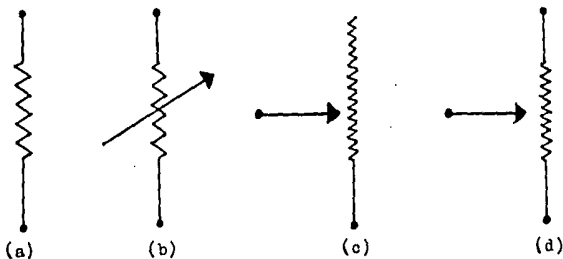
1. Valor nominal. Es el valor marcado en el resistor y equivale a su valor de resistencia expresado en ohms. Algunos resistores traen impreso en forma numérica ese valor, - pero otros utilizan franjas de colores que también expresan su valor, pero de acuerdo a un código universal, el cual aparece incluido en los apéndices de este trabajo.

2. Tolerancia. De acuerdo a los procesos de fabricación y a que los resistores se fabrican en grandes cantidades, - el valor de los mismos no siempre concuerda con el valor - marcado, pudiendo ser más alto o más bajo. La tolerancia - de un resistor es el porcentaje que puede cambiar el valor real del mismo en comparación con su valor nominal. Así, - un resistor de 100 ohms con una tolerancia del 5% puede tener un valor comprendido entre 95 y 105 ohms. Cuanto más - baja es la tolerancia de un resistor, su precisión es más - alta.

3. Potencia máxima de disipación. Este valor expresado - en vatios, es la cantidad máxima de energía calorífica por unidad de tiempo que puede disipar un resistor por efecto - Joule. Como se recordará, dicho calentamiento es proporcio - nal al cuadrado de la corriente que circule por él. A par - tir de este valor, podemos calcular la máxima corriente -- que puede circular por el resistor sin que se produzca la - destrucción del mismo por calentamiento. Entre más alto --

sen este valor, el resistor debe ser de un tamaño mayor.

Los símbolos con los cuales representamos a los resistores en los diagramas, son los siguientes:



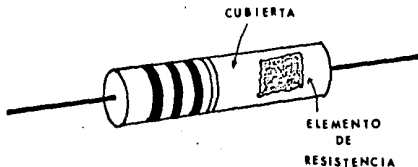
- (a) Resistor fijo
- (b) Resistor variable
- (c) Resistor variable de dos terminales
- (d) Resistor variable de tres terminales

A continuación, hablaremos de los tipos de resistores existentes, su construcción, usos y características.

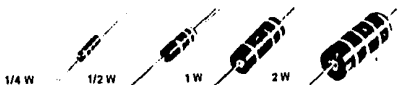
a. Resistores de composición.

Este tipo de resistores se construye utilizando un elemento de resistencia hecho con carbón pulverizado, al cual se le añade una sustancia llamada aglomerante, que sirve para mantener unidas las partículas y darle una consistencia sólida. El valor de resistencia se obtiene regulando la cantidad de carbón y aglomerante empleados. Posteriormente se le dá forma cilíndrica y es cortada en pequeños -

trozos, los cuales son recubiertos con un material plástico. Por último, sus extremos se unen a unos alambres de co nexión.



Los valores de estos resistores van desde los 10 ohms -- hasta los 20 millones, (20 megohms). Sus tolerancias clásicas son 20, 10 y 5%. La potencia de disipación alcanza - valores de 1/4, 1/2, 1 y 2 vatios (watts).

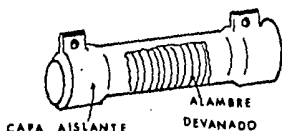


Estos resistores son muy empleados en los circuitos elec trónicos debido a su bajo costo, solidez y pequeño tamaño, siempre y cuando no se requieran tolerancias muy pequeñas- y las corrientes que circulen no sean muy elevadas.

b. Resistores de alambre.

Los resistores de alambre o devanados, se construyen em- pleando un núcleo cilíndrico de material aislante sobre el

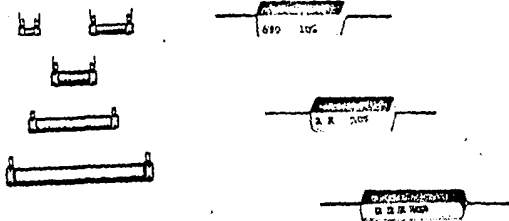
cual se enrolla un alambre, generalmente una aleación que contiene dos o más elementos tales como cobre, hierro, níquel, cromo, cinc y manganeso. Los extremos se conectan a un par de casquillos, y éstos a las terminales del resistor. Por último, un revestimiento de material aislante, -- que bien puede ser cerámica plástica, es aplicado al resistor. El valor de la resistencia depende de la aleación utilizada y de la cantidad de alambre enrollado.



Este tipo de resistores es fabricado en dos tipos: de potencia y de precisión.

Los resistores de potencia son utilizados en circuitos -- que manejan corrientes elevadas, razón por la cual, su tamaño es mayor que el de otros resistores, ya que el calor generado debe ser transferido al medio ambiente, aunque en algunos casos se utilizan disipadores especiales. El rango de valores para este tipo de resistor va desde unos pocos hasta miles de ohms, con tolerancias de 10 y 20%

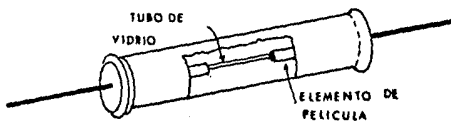
Por otra parte, los de precisión se construyen de tal manera que su valor de tolerancia sea lo más bajo posible, -- los hay desde 0.1%, y los valores para este tipo de resis-

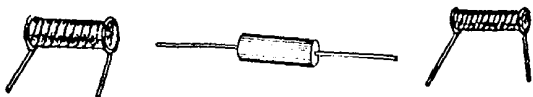


tor pueden ser inferiores a 1 ohm. El uso de este resistor es muy restringido, ya que los métodos y materiales empleados en su fabricación son muy costosos.

c. Resistores de película.

Este tipo de resistor se fabrica depositando, mediante una técnica especial, una delgada película de un material con cierta resistencia sobre un tubo de vidrio o de cerámica. Se conectan a los extremos un par de casquillos, y a éstos, las terminales del resistor. Por último, se rodea con una capa aislante para proteger el dispositivo. La resistencia depende del material usado para la película y -- del espesor de ésta.





Este tipo de resistores poseen algunas de las características de los resistores de composición y de los de alambre, llegando a ser considerados como intermedios entre ambos. Tienen algo de la precisión del de alambre y lo pequeño, sólido y barato del de composición.

d. Reóstatos.

Un reóstato es un resistor variable construido de manera tal, que su valor de resistencia pueda ser cambiado manualmente. Constan de un elemento de resistencia en forma circular contenido en una cubierta o caja, y un contacto deslizante que puede ser movido a lo largo del elemento, manteniendo contacto eléctrico con él.



Al mover la posición del contacto, el cual está unido a una de las terminales del resistor, variamos el valor de -

la resistencia entre terminales. El elemento de resistencia puede ser de alambre, de composición o de película.

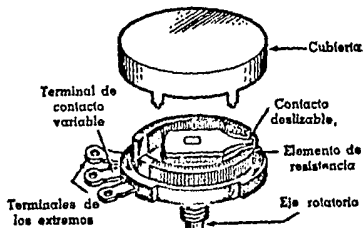


La variación en el valor de la resistencia puede ser directa o gradual. En el primer caso, la resistencia varía directamente con el grado de rotación. Para medio giro del contacto deslizante, el valor de la resistencia en terminales debe ser la mitad del total. Cuando la variación es gradual no se cumple lo anterior.

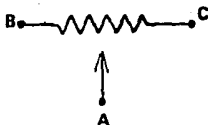
Los rangos en el valor de resistencia así como la potencia máxima para la cual se construyen, dependen del material usado en el elemento de resistencia.

e. Potenciómetros.

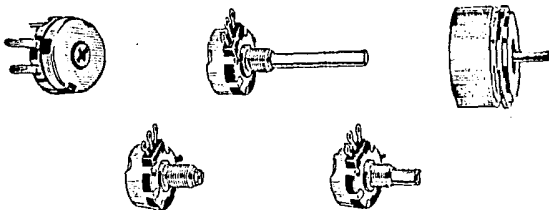
Un potenciómetro, es un resistor variable idéntico en construcción y características, a un reóstato. La diferencia reside en que en el potenciómetro, los dos extremos del elemento de resistencia se conectan al circuito.



Los potenciómetros son también conocidos como resistores variables de tres terminales.



De acuerdo a su construcción, el potenciómetro equivale a usar, simultáneamente, dos reóstatos, uno de los cuales aumenta su valor de resistencia al disminuir el del otro.

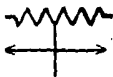


En los potenciómetros y reóstatos con elemento de carbón la reducción gradual es muy fácil de obtener así como valores muy elevados de resistencia. Sin embargo, no podemos utilizarlos con corrientes muy elevadas y su valor de resistencia cambia con el calor, la humedad y el desgaste. Con los de alambre es fácil obtener valores bajos y precisos, así como utilizarlos con corrientes elevadas. Su desventaja estriba en la dificultad con la cual se puede conseguir la reducción gradual.

f. Resistores ajustables.

Un resistor ajustable, como su nombre lo indica, es a---

quel en el cual podemos ajustar el valor de su resistencia a un valor deseado de antemano. Su construcción es similar a la del resistor de alambre, excepto que todo el devanado o parte de él, está expuesto.



Un cursor móvil hace contacto con el devanado y se puede mover a lo largo del mismo. Obtenemos dos valores de resistencia simultáneos, dependiendo éstos de la posición del cursor móvil.

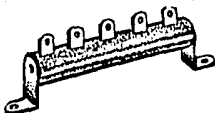


Este tipo de resistores no se construyen para ajustes -- frecuentes. Por lo regular, después de ajustarse al valor deseado se bloquean y posteriormente se instalan en el circuito.

g. Resistores con derivaciones.

El resistor con derivaciones es aquél que tiene dos o -- más valores determinados de resistencia en el mismo elemen

to. Su construcción es similar a la de los resistores de a lambre, conectándose una o más terminales adicionales en - puntos intermedios entre sus extremos.



Dependiendo de su potencia de disipación, el núcleo de - estos resistores puede ser de fibra o plástico para bajas - potencias, o de porcelana para altas.

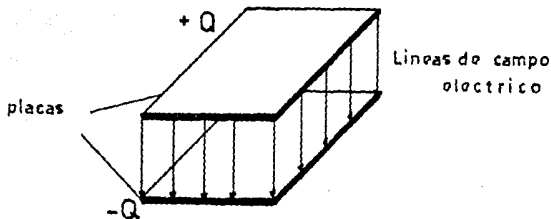
3.3.2 Capacitores.

Un dispositivo ampliamente utilizado en electricidad y e lectrónica lo es sin duda el capacitor, también conocido - como condensador. Consta de dos placas de material conductor separadas por un dieléctrico, que en algunas ocasiones puede ser el aire.

Si transferimos a las placas cargas eléctricas de magni- tudes iguales y signos contrarios, aparecerá un campo eléc- trico entre las placas. Las líneas de fuerza saldrán de la placa cargada positivamente y entrarán a la placa cargada- negativamente.

Al cargarse eléctricamente las placas del condensador a- parece una diferencia de potencial entre ellas.

En la siguiente figura se ilustra claramente lo anterior.



En los capacitores, la relación entre la carga y el voltaje de las placas siempre permanece constante. Si aumenta la magnitud de la carga, el voltaje aumenta en la misma -- proporción. Si disminuye la carga, el voltaje también lo -- hará. A esa constante, producto de la relación entre carga y voltaje, se le dá el nombre de Capacitancia, cuyo símbolo es C y sus unidades son los faradios, aunque se emplean siempre submúltiplos por ser una unidad muy grande.

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$\text{Capacitancia} = \frac{\text{Carga}}{\text{Voltaje}}$$

$$\text{Faradio} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Voltio}}$$

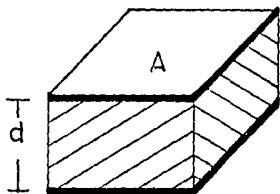
Submúltiplos

| | | | |
|--------------------------|---|---------------------|----------|
| microfaradio (μF) | = | 1×10^{-6} | faradios |
| picofaradio (pF) | = | 1×10^{-12} | faradios |

La capacitancia de un capacitor depende de sus dimensio-

nes geométricas tales como forma y tamaño de las placas y distancia de separación de las mismas. También depende del tipo de dieléctrico utilizado, el cual contribuye a elevar la capacitancia. Un capacitor muy popular lo es sin duda - el de placas paralelas, el cual tomaremos como ejemplo. Para este capacitor, su capacitancia está dada por:

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d}$$



en donde A es el área de las placas, d la distancia de separación de las mismas que también viene a ser el espesor del dieléctrico, ϵ_0 que es una constante llamada de permitividad eléctrica en el vacío, y K que es otra constante - llamada constante dieléctrica y es un factor que depende del material utilizado como dieléctrico.

Una de las funciones de un capacitor es la de almacenar energía eléctrica, aunque este almacenamiento es muy limitado. Al estudiar la corriente alterna y circuitos, veremos algunas de las aplicaciones que se pueden dar a los capacitores.

De acuerdo al valor de su capacitancia, los capacitores los podemos clasificar de la siguiente manera:

F I J O S

A. CON DIELECTRICO: de mica
de papel
de aceite
doble
de película sintética
metalizado
cerámico

B. ELECTROLITICOS: de aluminio
de tantalio
de neobio

C. POLARIZADOS O NO POLARIZADOS

V A R I A B L E S

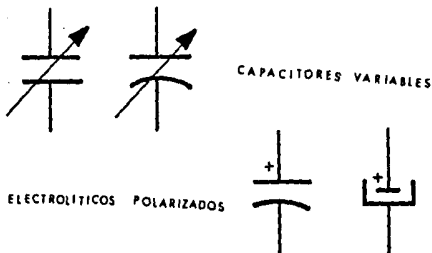
A. DE ESTATOR PARTIDO

B. MULTIPLES

C. AJUSTABLES

Algunos de los símbolos utilizados en los diagramas para representar a los capacitores son los siguientes:

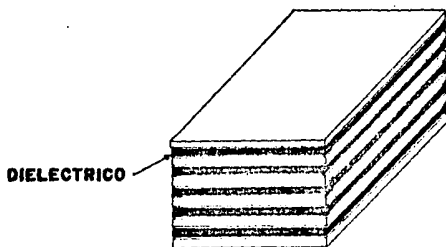




A continuación, hablaremos acerca de la construcción y características de los diferentes tipos de capacitores.

a. Capacitor con dieléctrico de mica.

Estos capacitores se fabrican con hojas de aluminio y mica colocadas una sobre otra en forma alternada. El aluminio actúa como conductor y la mica como dieléctrico. Las placas se interconectan entre sí y todo el conjunto se cubre con baquelita u otro material que evite la humedad.

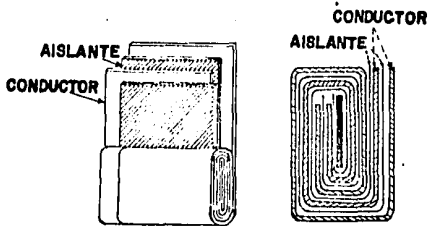


Los valores de capacitancia para los cuales se fabrican-

este tipo de capacitores van desde 1 picofaradio hasta 1 - microfaradio y los voltajes de operación desde 50 hasta -- 50,000 voltios.

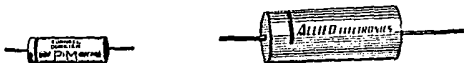
b. Capacitor con dieléctrico de papel.

Se construyen con láminas de aluminio y papel kraft im--
pregnado con algún compuesto sintético como aislante. Es--
tos elementos se apilan intercalando conductores y aislado
res, luego se enrrollan formando una estructura única que--
se recubre de metal, plástico o cartón para proteger el --
dispositivo. Cada placa del capacitor se conecta a su ter--
minal correspondiente.



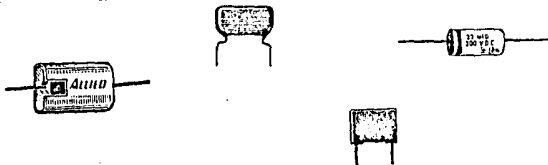
Los capacitores de este tipo son más pequeños y de menor costo que los de mica. Su capacitancia va desde 0.0001 hasta 1 microfaradio y los voltajes de trabajo de 50 a 1,000-

voltios. Para aplicaciones especiales se fabrican con capacidades de hasta 200 microfaradios para trabajar con voltajes de hasta 200,000 voltios.



c. Capacitor con dieléctrico de película sintética.

De construcción parecida a la de los capacitores de papel, los de película sintética, como su nombre lo indica, llevan un dieléctrico de material sintético muy delgado como el Du Pont Mylar, Teflón de poliéster, poliestireno o policarbonato.



Su grosor es del orden de los 0.004 milímetros, lo que hace que su empleo sea muy popular en equipos miniaturizados, calculadoras, equipos militares y aeroespaciales.

d. Capacitor con dieléctrico doble.

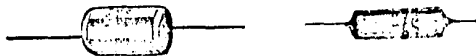
Para combinar las ventajas de los dieléctricos de papel y de los de película sintética, se construye este tipo de

capacitor. En el proceso de fabricación los dieléctricos se unen para formar uno solo, el cual se enrolla junto con las placas para formar de esa manera una estructura rígida.

Respecto a los capacitores de mica o de papel, con este tipo se obtienen capacitores con tamaño y peso más pequeños.

e. Capacitor con dieléctrico metalizado.

Se fabrica colocando una capa muy delgada de metal encima de un aislante, ya sea de papel o de mica. Posteriormente el conjunto es enrollado y conectadas sus terminales.

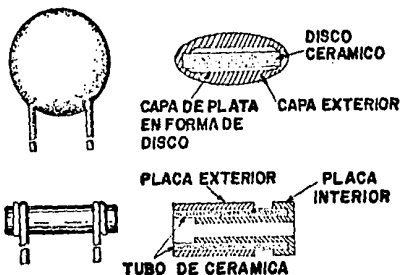


Algo muy importante es su autorreparación, lo cual significa que al averiarse el dieléctrico por algún voltaje muy elevado, el metal de esa zona se quema con el papel o dieléctrico usado y no ocurre cortocircuito. El capacitor funciona normalmente aunque con una variación muy pequeña en su capacitancia.

f. Capacitor con dieléctrico de cerámica.

En la construcción de este tipo de capacitor, se adhiere una capa de plata a las caras de una pieza de cerámica cocida que generalmente es de forma circular, cilíndrica o rectangular delgada, que en conjunto forman una unidad muy compacta. Se fabrican para voltajes que van desde 1 hasta-

20,000 picofaradios para voltajes de 500 a 5,000 voltios,--
y los hay de 0.005 hasta 2 microfaradios para operarlos --
con voltajes de 2 a 50 voltios.

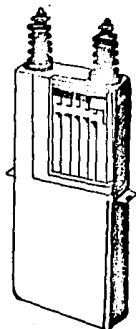


g. Capacitor con dieléctrico de aceite.

Cuando es necesario un capacitor que trabaje a muy altos voltajes en aplicaciones industriales o de distribución de energía eléctrica, se utiliza este capacitor en el cual el dieléctrico empleado es papel impregnado de aceite.

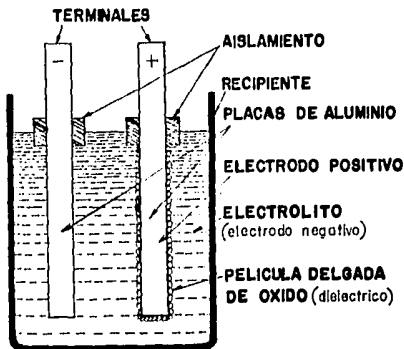
El conjunto de placas y dieléctrico es encerrado en un recipiente hermético, el cual es llenado con aceite. Los valores de capacitancia para los cuales se fabrican, varían de 0.1 hasta 10 microfaradios para usarse con volta--

jes de 600 a 50,000 voltios. Para aplicaciones especiales-
los podemos encontrar con valores muy elevados de capaci-
tancia y voltajes de operación de hasta 200,000 voltios.



h. Capacitor electrolítico de aluminio.

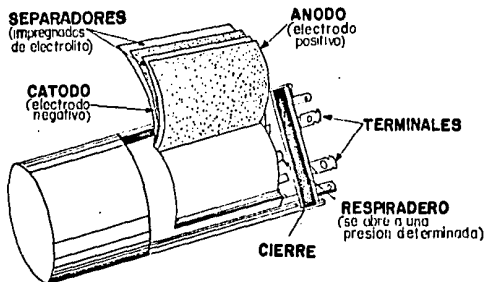
Un capacitor electrolítico está formado por dos placas -
metálicas separadas por un electrolito. El electrolito no
es realmente el material aislante, sino que actúa como pla-
ca negativa ya que es un conductor.



El dieléctrico es una película de óxido que se forma, mediante un procedimiento especial sobre la placa positiva.

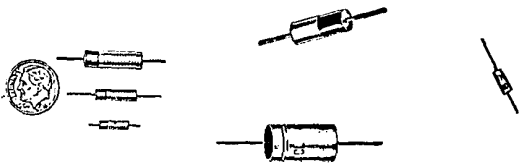
En los capacitores electrolíticos de aluminio, el material usado para la construcción de las placas es, precisamente, el aluminio. El electrolito puede ser líquido, sólido o pastoso. Dependiendo de la consistencia de éste, al capacitor se le conoce como húmedo o seco.

El capacitor electrolítico húmedo de aluminio se usó bastante hace tiempo, pero en la actualidad ha sido reemplazado por el de tipo seco. En general, éste último consta de una lámina positiva, una negativa que sirve de contacto al electrolito con el exterior, y un separador que contiene el electrolito. Todo lo anterior es enrollado en forma cilíndrica y se le añaden los elementos necesarios para las conexiones eléctricas, su protección y montaje.



i. Capacitor electrolítico de tantalio.

El tantalio se puede emplear en lugar del aluminio para las placas de un capacitor electrolítico. Con el tantalio es posible reducir en gran proporción el tamaño del capacitor ya que se pueden construir hojas con espesores de 0.03 mm, en comparación con el espesor de las de aluminio que es de 0.05 mm. El empleo del tantalio sinterizado proporciona aún más ventajas a la miniaturización. El sinterizado es un proceso por el cual las partículas finamente pulverizadas de una sustancia se mezclan con un aglutinante orgánico y se comprimen. Posteriormente la mezcla es calentada en un horno especial, lo que da lugar a la evaporación del aglutinante orgánico, resultando un material resistente, y sin embargo, muy poroso.



Los capacitores de tantalio son fabricados en tres tipos que son: de hoja, de ánodo húmedo y de electrolito sólido. Los valores van desde 0.002 hasta los 2,000 microfaradios a voltajes de 3 a 600 voltios.

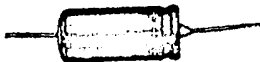
j. Capacitor electrolítico de neobio.

El neobio es un material que posee características muy similares a las del tantalio y por esa razón también es utilizado en la fabricación de capacitores electrolíticos.

Los capacitores electrolíticos de neobio son un 25% me-- nos pesados que su equivalente de tantalio y de menor cos-- to. Los encontramos desde 0.5 hasta 600 microfaradios a -- voltajes de 6 a 50 voltios.

k. Capacitores polarizados y no polarizados.

A causa del dieléctrico usado en los capacitores electro-- líticos, éstos solo se pueden usar cuando nunca cambia la-- polaridad del voltaje que se aplica en las terminales de -- los mismos. A estos capacitores se les dá el nombre de po-- larizados y tienen sus terminales marcadas de alguna forma para indicar el positivo y el negativo. Si se aplica un -- voltaje con la polaridad cambiada a este tipo de capacitor electrolítico, circulará una corriente elevada que los da-- ñará.



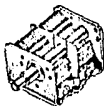
Ahora bien, si modificamos la constitución de un capaci-- tor electrolítico, éste se podrá emplear sin ningún peli-- gro en aplicaciones donde el voltaje cambia de polaridad - periódicamente. A tales capacitores se les denomina no po-- larizados. El cambio en la constitución consiste en formar la misma película de óxido en ambas placas, positiva y ne-- gativa. Los capacitores no polarizados son mayores en tam-- ño y costo que los polarizados de las mismas característi--

cas de voltaje y capacitancia.

1. Capacitor variable.

Un capacitor variable, como su nombre lo indica, es aquel que tiene la propiedad de variar su capacitancia.

Este capacitor consta de una parte fija llamada estator y de una móvil llamada rotor. Es en sí un conjunto de capacitores de placas paralelas con aire entre ellas y constituidos de tal forma que las placas del rotor se muevan libremente entre las del estator, produciéndose de esa manera los cambios en la capacitancia del dispositivo ya que se está variando un factor geométrico que es el área de las placas.



Las placas de este tipo de capacitores deben ser buenas conductoras, inoxidables, fuertes y rígidas. Se hacen generalmente con aluminio o latón plateado, niquelado o cadmiado. La distancia de separación entre placas es del orden de los 0.6 mm. Los capacitores variables pueden ser estándar, de estator partido o múltiples.

Las aplicaciones principales son en circuitos de emisión y recepción de radio así como en todos aquellos en los cua

les sea necesario variar la capacitancia en forma constante.

m. Capacitor ajustable.

Conocidos también como trimmers o padders, este tipo de capacitor es empleado para ajustar la capacitancia de un circuito. Está construido con dos o más placas aisladas entre sí por medio de una hoja de mica y un tornillo ajustable cuya función es variar la distancia de separación de las placas. Estos capacitores se definen por su capacitancia mínima y máxima. Se pueden encontrar con una mínima de 0.5 y con una máxima de hasta 500 picofaradios.

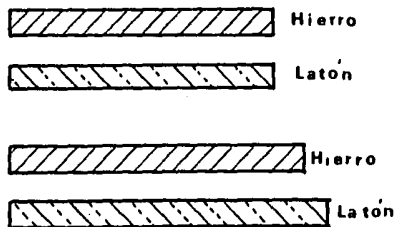


3.3.3 El termostato.

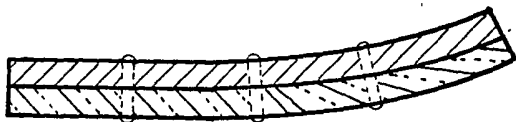
El termostato es un dispositivo basado en principios mecánicos, el cual es utilizado en circuitos para control de temperatura. Consta de dos metales diferentes, uno de los cuales, al calentarse, sufre una mayor dilatación térmica que el otro.

Si tomamos una tira de latón y otra de hierro, ambas de la misma longitud, cada uno de los metales se expandirá al

ser calentado, mas sin embargo, la expansión de la pieza de latón es 50% más que la de hierro.



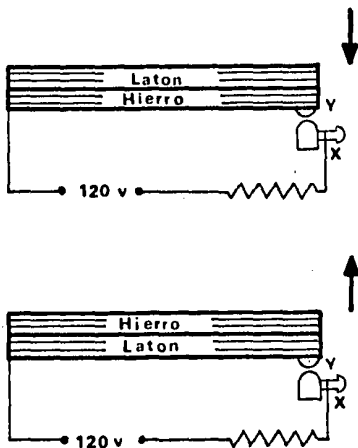
El termostato más simple se forma uniendo las dos tiras metálicas, ya sea amarrando, remachando o fundiéndolas. Si calentamos dicha unión, la expansión térmica desigual de los dos metales provocará que se doble el ensamble.



Tira bimetalica

Ahora bien, podemos utilizar esa deformación sufrida en la tira bimetalica para abrir o cerrar un circuito. Dependiendo de la posición de la tira de latón, la deformación abrirá o cerrará el circuito. Las siguientes figuras lo --

muestran:



El termostato puede hacerse ajustable si el contacto X - es asegurado a un tornillo o palanca, con lo cual podemos acercar o alejar dicho contacto del elemento termostático - ajustando así el grado de dobléz al cambio de temperatura - necesario. Para el caso en el cual usamos el termostato para abrir el circuito, si el contacto X es movido hacia arriba, el elemento calefactor debe calentar el termostato a una temperatura más alta para doblar a éste lo suficiente para abrir el circuito eléctrico.

Los contactos X y Y del termostato están hechos de plata o bronce chapeado de plata. Sabemos que la plata es el mejor conductor de electricidad que existe, mas sin embargo,

no es esa la razón principal por la cual es usada para fabricar los contactos.

Cuando abrimos un circuito por el cual circula cierta -- cantidad de corriente eléctrica, como la usada para operar una plancha, se forma un arco debido a que la corriente literalmente salta el pequeño espacio de aire cuando los contactos están muy juntos. Este arco causa que el metal se - derrita debido a que existe un calentamiento muy intenso.- A esa temperatura, 'el contacto metálico se combina químicamente con el aire, es decir, se oxida, formándose una capa de óxido en las superficies de contacto. Esa capa de óxido se comporta como un aislante en todos los metales, excepto en la plata. El óxido de plata es tan buen conductor como la plata misma, por esa razón, los contactos hechos con este material duran más y dan un mejor servicio que los hechos con cualquier otro material.

El termostato es un mecanismo cuyo uso es casi exclusivo con corriente alterna aunque puede ser usado con corriente directa, para la cual, la vida del contacto se reduce debido a que el arco es de duración prolongada en comparación con lo corto y menos severo que se presenta con la corriente alterna.

El corazón del termostato es el ensamble de hierro y latón. Debido al uso tan grande que tienen los termostatos, - las tiras bimetálicas son fabricadas fundiendo los materiales. La placa se corta en tira de un largo conveniente y - su apariencia es como la de un solo metal con un color similar al de una pieza de hierro que no ha sido pulida.

Cabe hacer la aclaración, por último, que el termostato en sí no consume una gran cantidad de potencia, ya que el encargado del calentamiento es el elemento calefactor. El-

termostato solamente abre o cierra un circuito eléctrico.

3.3.4 Fusibles.

Los fusibles, son dispositivos utilizados para proteger a las líneas y a los aparatos contra corrientes excesivas, las cuales, en la mayoría de los casos, son debidas a fallas en los circuitos. Con los fusibles, el circuito se abre, en caso de sobrecarga, dentro del dispositivo en sí, razón por la cual deben tener la capacidad de interrumpir la corriente de línea y de extinguir el arco que se forma en el momento de la falla. La conexión de los fusibles al circuito se hace de tal manera que la corriente circule a través de ellos.

Sus características principales, desde el punto de vista eléctrico, lo son el voltaje de operación y el valor de la corriente para la cual interrumpirán el circuito. De acuerdo a la primera característica, los fusibles se dividen -- en:

1. Fusibles de baja tensión.
2. Fusibles de alta tensión.

En esta sección sólo nos ocuparemos de los primeros, dejando a los de alta tensión para el momento en que estudiemos la distribución de energía eléctrica, que es en donde tienen su principal aplicación.

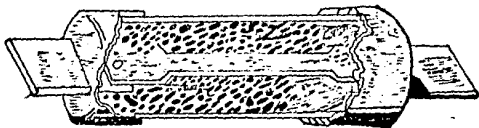
Los fusibles de baja tensión son aquellos diseñados para trabajar con voltajes de hasta 600 voltios. Existen de disparo rápido y de acción retardada. Se define, el de acción retardada, como aquel que tiene un tiempo de apertura superior a los 12 segundos con una carga del 200%.

Existen, también, los fusibles recambiables y los no recambiables. Estos últimos no pueden volver a utilizarse una vez que han cumplido su función. Los recambiables están diseñados de tal manera que el elemento fusible pueda ser reemplazado una vez que se ha fundido, por un elemento nuevo.

A continuación, nos referiremos a los fusibles más comunes y de mayor uso que existen.

a. Fusible ordinario de cartucho no recambiable.

Este es el tipo más antiguo de fusible de cartucho, y aún en la actualidad su uso es común. Consiste en un tubo de fibra vulcanizada, papel u otro material semejante, dentro del cual va montado el fusible. Las terminales se conectan a piezas de contacto en los extremos del tubo. Posteriormente se rellena el tubo de una sustancia aislante en polvo. Al momento en que se funde el fusible, el material pulverizado extingue el arco.



Este tipo de fusible es fabricado en un rango que abarca valores desde 1 hasta 600 amperes inclusive, y para su uso

en circuitos que trabajen con un voltaje máximo de 250 o - 600 voltios. Estos fusibles tienen un retardo muy pequeño, lo que limita su uso a la protección contra corto circuitos en donde estos ocurran con muy poca frecuencia. Son conocidos también como fusibles clase H.

b. Fusible de cartucho reemplazable.

Este tipo de fusible se construye de manera que el elemento fusible pueda ser fácilmente reemplazado cuando se haya fundido. Se fabrican en rangos desde 3 hasta 600 amperes inclusive y para operarlos en circuitos que trabajen con voltajes máximos de 250 o 600 voltios.

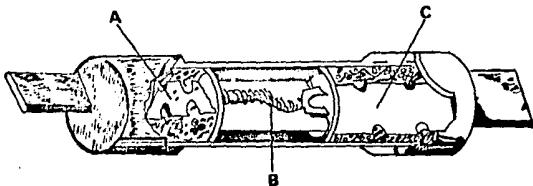


La mayor parte de estos fusibles son del tipo de acción retardada. El retardo se logra mediante un tipo de construcción especial que emplea la combinación de partes con secciones transversales muy grandes con partes que tienen una sección transversal muy pequeña. Este tipo de construcción hace que la cantidad de metal que se vaporiza al momento de una falla, sea menor. Esto significa que se origina una presión menor en el fusible y que, por lo tanto, el peligro de que explote o despida fuego en caso de corto circuito, sea reducido en gran parte.

Los fusibles de acción retardada reemplazables se utilizan para la protección de los circuitos en los que las perturbaciones son frecuentes.

c. Fusible de cartucho de elemento doble.

El fusible de elemento doble se construye combinando un elemento térmico para la protección contra sobrecargas moderadas y un elemento de fusión para protección contra sobrecargas mayores y cortocircuitos. Se les llama también fusetrones y los hay de cartucho y de tapón. A continuación se muestra un fusible de cartucho.



El fusible ilustrado consta de dos elementos de cobre A y C situados en los extremos de un receptáculo, y una línea gruesa central de cobre B, la cual es mantenida en su posición mediante una conexión soldada a un muelle. La conexión soldada actúa como un elemento térmico mientras que las secciones extremas proporcionan el elemento contra cortocircuitos. Las sobrecargas moderadas no fundirán las partes A y C, pero si su duración es prolongada, abrirán el circuito a través del elemento térmico ya que el calentamiento prolongado fundirá la soldadura y la parte B quedará desconectada. Para grandes sobrecargas, el elemento fusible se funde instantáneamente no dando lugar a que empiece a funcionar el elemento térmico.

Los fusibles de este tipo son fabricados para valores desde 0.1 hasta 600 amperes y para ser usados en circuitos con voltajes máximos de 250 o 600 voltios.

Proporcionan, también, una protección óptima para la mayoría de los circuitos ya sean alimentadores, de alumbrado, equipados con aparatos eléctricos, así como aquellos que contienen motores. Su gran acción retardadora hace que no existan interrupciones inútiles como ocurre con la gran mayoría de los fusibles ordinarios que abren los circuitos para sobrecargas no peligrosas.

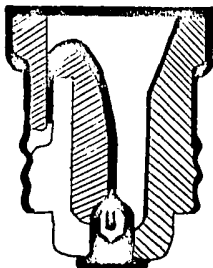
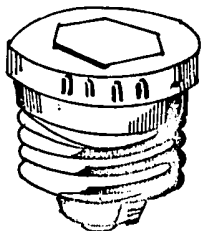
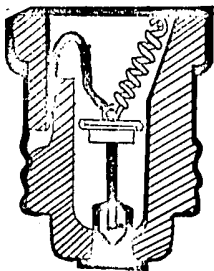
d. Fusible de tapón.

Estos fusibles se fabrican de dos tipos: ordinario y de acción retardadora. Ambos son del tipo no reemplazable. Se fabrican normalmente para 15, 20, 25 y 30 amperes, pero también los hay para 1, 2, 3, 5, 6, 8 y 10 amperes. Los fusibles de hasta 15 amperes están provistos de una ventana hexagonal y los de calibre mayor de una ventana redonda.

Estos fusibles se utilizan solamente en circuitos cuyo voltaje no sea mayor de 125 voltios. Los instalados en residencias deben ser de acción retardadora.

El fusible ordinario consta de un hilo de aleación especial montado en un receptáculo de porcelana, el cual está provisto de una base roscada idéntica en tamaño y forma a las usadas en las lámparas incandescentes de uso doméstico. La parte superior es transparente, de modo que pueda verse el hilo del fusible.

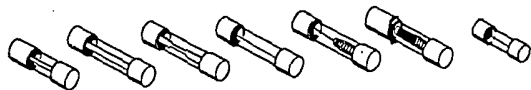
Los de acción retardadora son de elemento doble y actúan de la misma forma que los de cartucho estudiados anteriormente. A continuación se muestran dos fusibles de tapón, u no ordinario y el otro de elemento doble.



e. Fusible de pequeñas dimensiones.

Este tipo de fusible, a pesar de lo reducido de sus dimensiones, es bastante utilizado en la mayoría de los instrumentos y aparatos electrónicos así como en todos aquellos circuitos en los cuales las corrientes no alcancen valores más allá de los 20 amperes. Su uso en la protección del equipo eléctrico del automóvil es esencial.

Este tipo de fusible se construye ya sea con el elemento fusible dentro de un tubo de vidrio o con dicho elemento montado sobre un pequeño soporte de plástico.



CAPITULO 4

CIRCUITOS ELECTRICOS

4.1 TERMINOLOGIA DE CIRCUITOS.

En la representación de un sistema eléctrico, se encuentran con frecuencia combinaciones de fuentes y elementos conectados de una forma complicada. Para estudiar estas combinaciones se hace necesario conocer algunos términos que se utilizan, los cuales se definen a continuación.

Elemento de circuito. Los elementos de un circuito son los componentes individuales de dos terminales que forman al circuito.

Red. Una red es un grupo de elementos de circuito interconectados. El término red se usa frecuentemente como sinónimo de circuito.

Terminal. Es un punto en el cual un elemento puede ser conectado a otros elementos.

Rama. Una rama es un grupo de elementos y fuentes que pueden combinarse para formar un dispositivo con dos terminales.

Elemento pasivo. Un elemento que no es una fuente es llamado elemento pasivo. Una rama con elementos pasivos se llama rama pasiva.

Elemento activo. Un elemento activo es una fuente de corriente o de voltaje. Una rama activa es una rama que tiene uno o más elementos activos.

Nodo o unión. La conexión de dos o más ramas en un punto común forma un nodo o unión.

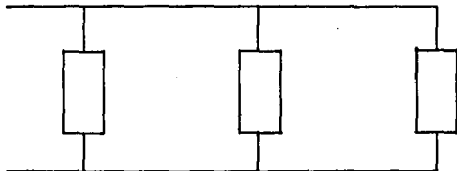
Malla. Cualquier circuito cerrado de ramas es una malla, con la condición que no pase dos veces por el mismo

nodo.

Conexión serie. Una conexión de elementos de circuito - está en serie cuando dichos elementos forman una sola trayectoria entre un par de puntos.



Conexión paralelo. Una conexión de elementos de circuito está en paralelo cuando las terminales de cada uno de los elementos están conectadas al mismo par de puntos.



4.2 ELEMENTOS DE UN CIRCUITO.

Los elementos de un circuito, como ya se mencionó, pueden ser activos o pasivos. Desde el punto de vista de la energía, un elemento activo es aquel capaz de suministrar energía a un circuito, algo que un elemento pasivo no puede hacer.

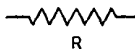
Los elementos activos de un circuito vienen a ser las fuentes de fem, mismas que son estudiadas en otros capítulos del presente trabajo.

Los elementos pasivos de un circuito pueden ser de tipo

resistivo, capacitivo o inductivo.

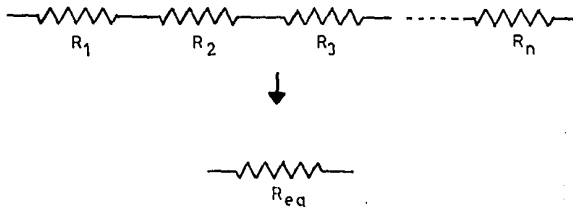
4.2.1 Elementos resistivos.

Un elemento resistivo es aquel que solo posee resistencia. Se representa en un circuito por el símbolo



Los elementos resistivos pueden ser resistores, conductores, calefactores, etc. Por simplicidad les llamaremos resistencias.

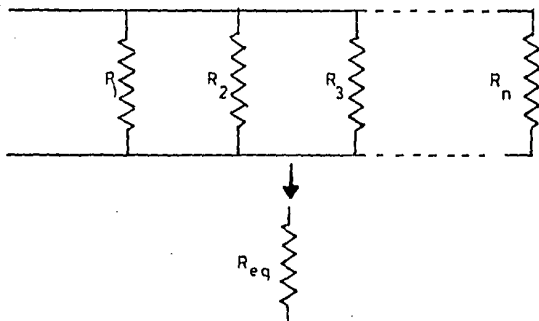
Si tenemos una conexión de resistencias en serie, éstas pueden ser sustituidas por una resistencia única llamada resistencia equivalente y cuyo valor es la suma de las resistencias individuales que forman el arreglo.



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

Si ahora tenemos un arreglo de resistencias en paralelo, éstas también pueden ser sustituidas por una resistencia única equivalente, el inverso de la cual es la suma de los

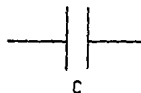
inversos de las resistencias individuales que constituyen el arreglo.



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

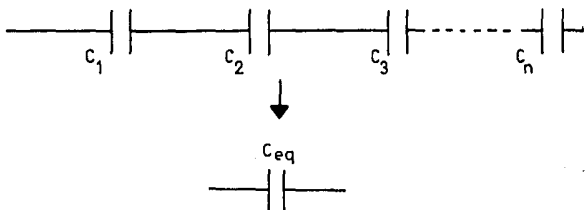
4.2.2 Elementos capacitivos.

Los elementos capacitivos son aquellos que poseen capacidad y pueden almacenar cantidades discretas de energía. Estos elementos son los llamados capacitores y algunas configuraciones eléctricas que se comportan como tales. Se representan por el símbolo



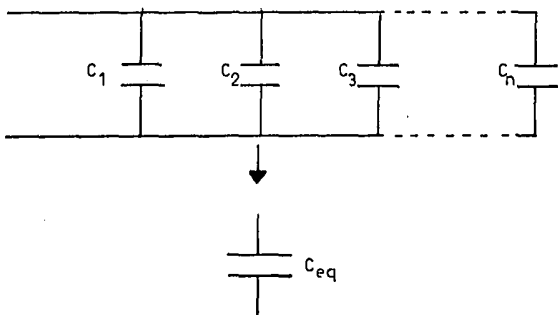
Si tenemos una conexión de capacitancias en serie, éstas pueden ser reemplazadas por una capacitancia única llamada capacitancia equivalente. El inverso de la capacitancia equivalente es la suma de los inversos de las capacitancias

existentes en el arreglo.



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Cuando el arreglo de capacitancias está conectado en paralelo, la capacitancia equivalente es la suma de las capacitancias individuales.



$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

4.2.3 Elementos inductivos.

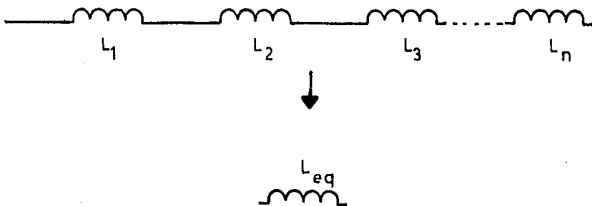
Los elementos inductivos son aquellos que poseen inductancia.

Cuando la corriente fluye por una bobina, se crea un campo magnético alrededor de la bobina. Cuando se incrementa la corriente, el flujo magnético a través de la bobina aumenta. Un incremento en el flujo magnético, según la Ley de Faraday, genera un voltaje en la bobina. La capacidad de una bobina para oponerse a ese cambio se denomina Inductancia y sus unidades son los Henrys. Las bobinas se llaman inductores.

El símbolo empleado para representar a la inductancia es

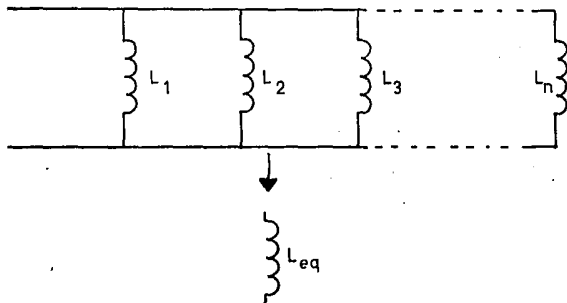


La inductancia equivalente de una conexión en serie es la suma de las inductancias individuales que constituyen el arreglo.



$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

Para una conexión de inductancias en paralelo, el inverso de la inductancia equivalente es la suma de los inversos de las inductancias individuales del arreglo.



$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

4.3 CIRCUITOS DE CORRIENTE DIRECTA.

Podemos definir un circuito de corriente directa como aquel en el cual las fuentes empleadas son, precisamente, fuentes de corriente directa. La corriente en estos circuitos circula en un sentido único y tiene un valor constante.

En los circuitos de este tipo, todas las cargas conectadas a la fuente (motores, lámparas, etc.), pueden ser tratadas como elementos resistivos y tomar su resistencia como su única característica al momento de analizar el circuito.

A menudo es necesario conocer cantidades tales como corriente, voltaje, potencia o resistencia, para lo cual es

empleado el análisis de circuitos, que nos permite calcular dichos parámetros.

En el análisis de circuitos son usadas ciertas leyes, -- las cuales enunciaremos enseguida.

4.3.1 Ley de Ohm.

La Ley de Ohm nos dice que el voltaje V a través de una resistencia R es directamente proporcional a la corriente I que circula por ella:

$$V = IR$$

Su aplicación en el análisis de circuitos es que nos permite conocer cualquiera de las cantidades mencionadas si conocemos las dos restantes.

Ejemplo 1

Si por una resistencia de 20 ohms circula una corriente de 4 amperes, ¿qué voltaje aparece en las terminales de la resistencia?

$$V = ?$$

$$I = 4 \text{ amperes}$$

$$R = 20 \text{ ohms}$$

$$V = IR = (4)(20) = 80 \text{ voltios}$$

Ejemplo 2

Si a las terminales de una resistencia de 5 ohms se aplica un voltaje de 30 voltios, ¿qué corriente circulará por la resistencia?

$$V = 30 \text{ voltios}$$

$$I = ?$$

$$R = 5 \text{ ohms}$$

$$\text{Si } V = IR, \text{ entonces } I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{30}{5} = 6 \text{ amperes}$$

Ejemplo 3

Si una corriente de 2 amperes circula por una resistencia al ser aplicado un voltaje de 100 voltios, ¿cuál es el valor de dicha resistencia?

$$V = 100 \text{ voltios}$$

$$I = 2 \text{ amperes}$$

$$R = ?$$

$$\text{Si } V = IR, \text{ entonces } R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{100}{2} = 50 \text{ ohms}$$

4.3.2 Leyes de Kirchhoff.

La Ley de Ohm es empleada en la resolución de circuitos muy sencillos. Cuando las fuentes y resistencias en un circuito forman arreglos muy complicados, es necesario hacer uso de las dos leyes de Kirchhoff.

Primera ley (teorema de nodos). "La suma de las corrientes que llegan a cualquier nodo debe ser igual a la suma de las corrientes que salen de él."

Segunda ley (teorema de la trayectoria). "La suma algebraica de los cambios de potencial en el recorrido de cualquier malla de un circuito es cero."

Para una aplicación práctica de las leyes de Kirchhoff, se toman las siguientes convenciones para facilitar la solución de circuitos:

1. Cuando al recorrer una malla en un circuito se atraviesa una resistencia en la dirección de la corriente, existe una caída de voltaje igual a $-IR$. Si se atraviesa en dirección opuesta a la dirección de la corriente, existe entonces un aumento de voltaje igual a $+IR$.

2. Si una fuente de fem es atravesada de la terminal positiva a la negativa, existe un aumento de voltaje $+V$, el voltaje de la fuente. Si se atraviesa en sentido contrario existe entonces una caída de voltaje $-V$, el voltaje de la fuente.

3. Las corrientes que entran en un nodo se toman como positivas y las que salen como negativas.

4.3.3 Resolución de circuitos simples.

Llamaremos circuitos simples a aquellos cuya solución requiere únicamente de la ley de Ohm. El circuito simple más sencillo es aquel que solo contiene una fuente y una resistencia.

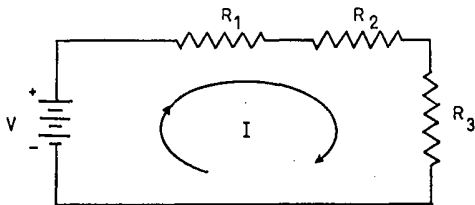
Los circuitos que contienen una fuente y varias resistencias conectadas en serie, reciben el nombre de circuitos serie. Los que tienen sus resistencias conectadas en paralelo, circuitos paralelo.

En los siguientes ejemplos se solucionaran circuitos sim

simples.

Ejemplo 4

Para el circuito mostrado en la figura, calcular la potencia consumida por cada resistencia.



$$V = 12 \text{ voltios}$$

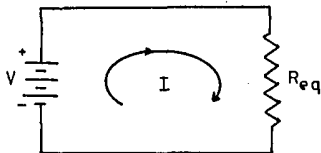
$$R_1 = 50 \text{ ohms}$$

$$R_2 = 30 \text{ ohms}$$

$$R_3 = 40 \text{ ohms}$$

La potencia es igual a I^2R en cada resistencia. Para realizar ese cálculo debemos encontrar la corriente que circula por el circuito. Como las tres resistencias están conectadas en serie, circula la misma corriente a través de ellas y podemos sustituir el arreglo por una resistencia equivalente.

$$R_{eq} = 50 + 30 + 40 = 120 \text{ ohms}$$



Aplicando la ley de Ohm, tenemos que:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{120} = 0.1 \text{ amperes}$$

Si llamamos P_1 a la potencia consumida por la resistencia R_1 , P_2 a la consumida por R_2 , etc., obtendremos:

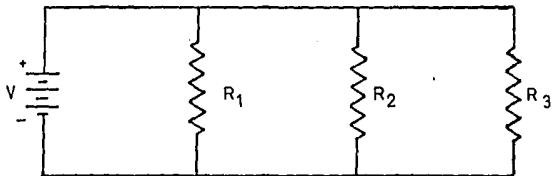
$$P_1 = I^2 R_1 = (0.1)^2 (50) = 0.5 \text{ vatios}$$

$$P_2 = I^2 R_2 = (0.1)^2 (30) = 0.3 \text{ vatios}$$

$$P_3 = I^2 R_3 = (0.1)^2 (40) = 0.4 \text{ vatios}$$

Ejemplo 5

Calcular, para el circuito mostrado en la figura, la potencia suministrada por la fuente.



$$V = 50 \text{ voltios}$$

$$R_1 = 10 \text{ ohms}$$

$$R_2 = 5 \text{ ohms}$$

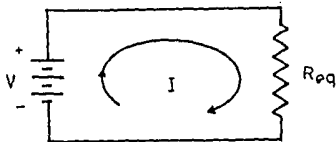
$$R_3 = 20 \text{ ohms}$$

La potencia suministrada por la fuente es igual a IV . Para calcular I , sustituimos las resistencias del circuito por una resistencia equivalente.

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

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{20} = \frac{7}{20}$$

$$R_{eq} = \frac{20}{7} = 2.85 \text{ ohms}$$



Aplicando la ley de Ohm, tenemos que:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{50}{2.85} = 17.5 \text{ amperes}$$

La potencia suministrada por la fuente es:

$$P = IV = (17.5)(50) = 875 \text{ vatios}$$

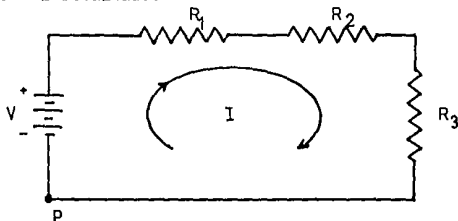
4.3.4 Resolución de circuitos en general.

En los ejemplos anteriores usamos la ley de Ohm para encontrar los parámetros pedidos, ya que las conexiones de las resistencias permitían hacer la sustitución por una resistencia equivalente y a partir de ese valor, encontramos los faltantes. Sin embargo, si el arreglo de las resistencias fuera más complicado e irreducible, el método de resolución del circuito ya no sería el mismo.

Las leyes de Kirchhoff son empleadas para la resolución de cualquier circuito, incluyendo los ya estudiados. En algunos casos basta la aplicación de alguna de las dos leyes, pero en otros es necesario aplicar las dos al mismo circuito. En los ejemplos siguientes se mostrará el procedimiento que debe seguirse para la resolución de cualquier circuito.

Ejemplo 6

Aplicando las leyes de Kirchhoff, calcular la corriente que circula por el circuito del ejemplo 4 y comprobar el resultado.



$$V = 12 \text{ voltios}$$

$$R_1 = 50 \text{ ohms}$$

$$R_2 = 30 \text{ ohms}$$

$$R_3 = 40 \text{ ohms}$$

El circuito mostrado es un circuito de una malla y se ha tomado arbitrariamente un punto de referencia p.

Para encontrar la corriente aplicamos la segunda ley de Kirchhoff o teorema de la trayectoria. Dibujamos el sentido de la corriente de la terminal positiva a la negativa.

Si recorremos el circuito en forma completa tendremos -- que salir del punto p y llegar a ese mismo punto. El reco-

rrido lo podemos realizar siguiendo el sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario.

Recorriendo el circuito en sentido de las manecillas del reloj, encontraremos un aumento de voltaje al atravesar la fuente y tres caídas de voltaje debido a que atravesamos las tres resistencias en el sentido de la corriente. Como la suma algebraica de los cambios de voltaje debe ser cero, obtenemos la siguiente ecuación:

$$+ V - IR_1 - IR_2 - IR_3 = 0$$

Sustituyendo los valores de V , R_1 , R_2 y R_3 :

$$+ 12 - I(50) - I(30) - I(40) = 0$$

Solucionando la ecuación:

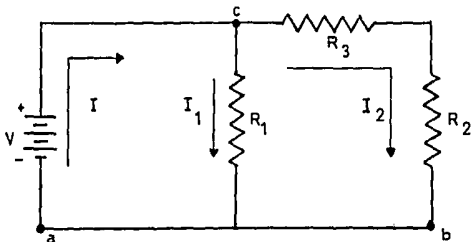
$$I(50) + I(30) + I(40) = 12$$

$$I(50 + 30 + 40) = 12 \quad I = \frac{12}{120} = 0.1 \text{ amperes}$$

Este resultado concuerda con el obtenido en el ejemplo 4. Si el recorrido hubiera sido en sentido contrario al de las manecillas del reloj, el resultado sería el mismo.

Ejemplo 7

Para el circuito mostrado en la figura, calcular la potencia disipada por cada resistencia. Demostrar también que la suma de las potencias disipadas es la potencia suministrada por la fuente. Se han supuesto los sentidos de las corrientes I_1 e I_2 .



$$V = 50 \text{ voltios}$$

$$R_1 = 15 \text{ ohms}$$

$$R_2 = 20 \text{ ohms}$$

$$R_3 = 60 \text{ ohms}$$

El circuito a resolver es un circuito de dos mallas y -- nuestras incógnitas son I , I_1 e I_2 . Para resolver este circuito llamaremos malla 1 a la que contiene la fuente y malla 2 a la restante. Tenemos también que a y b son un par de puntos tomados arbitrariamente como referencias. Por último, tomamos c como un nodo de estudio.

Primeramente analizamos la malla 1 aplicando la segunda ley de Kirchhoff. Iniciamos nuestro recorrido en el punto a siguiendo el sentido de las manecillas del reloj, obteniendo la siguiente ecuación:

$$+ V - I_1 R_1 = 0$$

Sustituyendo valores y ordenando la ecuación nos queda:

$$50 - (15)I_1 = 0 \quad (1)$$

La segunda ecuación la obtenemos de la malla 2 partiendo

del punto b y realizando nuestro recorrido en sentido de - las manecillas del reloj. Resulta, entonces, la siguiente ecuación:

$$+ I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_2 R_3 = 0$$

Sustituyendo valores y ordenando la ecuación tenemos:

$$+ (15)I_1 - (20)I_2 - (60)I_2 = 0$$

$$(15)I_1 - (80)I_2 = 0 \quad (2)$$

Por último, aplicamos la primera ley de Kirchhoff en el nodo c, tomando como positivas las corrientes entrantes y negativas las salientes.

$$+ I - I_1 - I_2 = 0 \quad (3)$$

De la ecuación (1) despejamos I_1 , resultando que:

$$I_1 = \frac{50}{15} = 3.33 \text{ amperes}$$

Sustituyendo ese valor en la ecuación (2) podemos calcular el valor de I_2 de la siguiente manera:

$$(15)(3.33) - (80)I_2 = 0$$

$$(80)I_2 = 50 \quad \text{entonces} \quad I_2 = \frac{50}{80} = 0.625 \text{ amperes}$$

De la ecuación (3) podemos conocer el valor de I .

$$I = I_1 + I_2 = 3.33 + 0.625 = 3.95 \text{ amperes}$$

Las potencias disipadas en las resistencias son:

$$P_1 = I_1^2 R_1 = (3.33)^2 (15) = 166.3 \text{ vatios}$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (0.625)^2 (20) = 7.8 \text{ vatios}$$

$$P_3 = I_2^2 R_3 = (0.625)^2 (60) = 23.4 \text{ vatios}$$

La potencia suministrada por la fuente es:

$$P = IV = (3.95)(50) = 197.5 \text{ vatios}$$

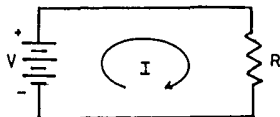
Comprobamos entonces que:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 197.5 \text{ vatios}$$

4.3.5 Corto circuito.

En un circuito de corriente directa, la resistencia es - el único factor que se opone al flujo de la corriente eléctrica. Si analizamos un circuito compuesto por una fuente y una resistencia, podemos calcular la corriente que circula a partir de la ley de Ohm.

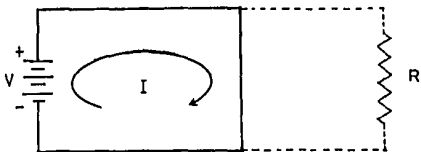
$$I = \frac{V}{R}$$



Si por alguna razón la resistencia adquiriera, repentinamente, un valor muy pequeño o cero, la corriente alcanzaría un valor muy grande. A esta condición de no resistencia y de muy alta corriente se le dá el nombre de corto circuito.

La resistencia de los conductores usados en los circuitos para conectar las cargas tienen valores muy pequeños y cercanos a cero. Si por alguna falla la fuente quedara conectada a los conductores, se dice que está corto circuitada.

Para ejemplificar, supongamos que una fuente de 12 voltios que alimenta una carga de resistencia R sufre un corto circuito como se muestra en la figura.



Si suponemos que la resistencia del alambre que une las terminales de la fuente es 0.005, que es un valor real aproximado, la corriente que circulará entonces será:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{0.005} = 2,400 \text{ amperes}$$

Es de esperarse que el alambre se funda mucho antes de que la corriente alcance ese valor, debido al calentamiento producido en el alambre por efecto Joule. La fuente puede dañarse seriamente debido a las condiciones tan severas

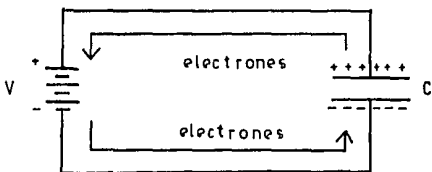
a que es sometida para hacer circular una corriente de una magnitud.

En resumen, existe un corto circuito siempre que la resistencia de un circuito sea tan baja que la corriente alcance valores muy elevados.

Para proteger a los circuitos son empleados los fusibles y cierto tipo de interruptores cuya función es abrir el circuito antes de que pueda ocurrir un daño a las fuentes, quemarse el aislante de los conductores o dar inicio a un incendio debido al intenso calor producido.

4.3.6 Circuitos capacitivos de corriente directa.

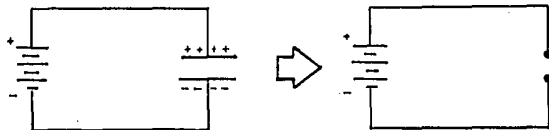
Si conectamos un capacitor a una fuente de corriente directa, las placas del capacitor adquirirán cargas de la misma magnitud y signos contrarios.



Dicha carga es producida por la fuente ya que ésta extrae cierta cantidad de electrones a una placa para mandarlos a la otra. La placa conectada a la terminal positiva de la fuente adquiere una carga $+Q$ y la placa conectada a la terminal negativa, una carga $-Q$. La cantidad de electrones que le faltan a una placa están en la otra.

Al cargarse el capacitor, el voltaje que aparece entre - sus placas tiene un valor igual al voltaje de la fuente. - Desde un punto de vista práctico, el tiempo que tarda en - cargarse un capacitor al conectarse a la fuente, es cero.

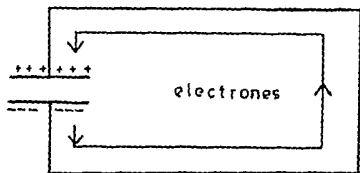
La corriente que fluye cuando el capacitor está cargándo se recibe el nombre de corriente de carga y su duración es muy pequeña. El equivalente eléctrico es el de un circuito abierto.



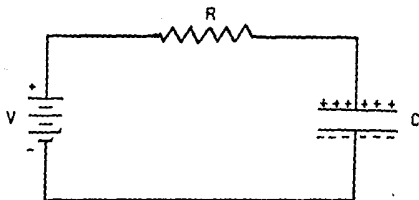
Cuando se carga un capacitor, en teoría debe mantener su carga un tiempo indefinido. Sin embargo, en la práctica, - cuando un capacitor se retira de la fuente pierde su carga paulatinamente. Esta pérdida de carga tarda cierto tiempo- en consumarse, de modo que, para aplicaciones en circui---tos, podemos considerar que un capacitor mantiene su carga hasta que deliberadamente le quitamos la energía eléctrica que almacena, lo cual es conocido como descarga del capacitor.

Para descargar un capacitor necesitamos una trayectoria- conductora entre las placas. El exceso de electrones exist- tentes en la placa cargada negativamente circular hacia la placa positiva produciéndose la descarga.

El flujo de electrones que van de la placa negativa a la positiva durante la descarga constituye lo que conocemos - como corriente de descarga.



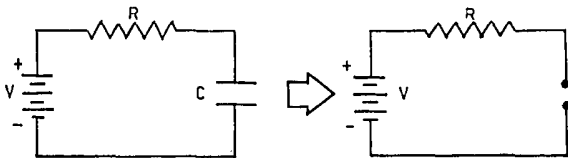
Si añadimos una resistencia en serie con el capacitor y la fuente, obtenemos lo que se llama un circuito RC. El comportamiento es similar al de un circuito capacitivo puro, con la particularidad de que el tiempo de carga del capacitor es un poco mayor y depende del valor de la resistencia.



Después de cargarse el capacitor, la corriente es cero y el voltaje que aparece en la resistencia sumado al voltaje en el capacitor es igual al voltaje de la fuente.

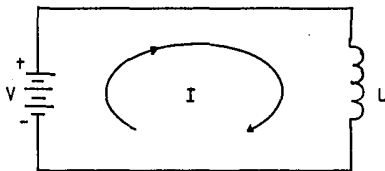
$$V = V_r + V_c$$

Al adquirir su carga el capacitor, el circuito se comporta como un circuito abierto.



4.3.7 Circuitos inductivos de corriente directa.

Cuando se conecta un inductor (bobina) a una fuente de corriente directa, circula una corriente I a través del inductor con la consiguiente creación de un campo magnético alrededor del inductor.



En realidad, la corriente parte de un valor cero y llega a establecerse en un valor I , tardando cierto tiempo que, para fines prácticos, se toma como cero.

En un circuito inductivo puro, el único factor que limita el flujo de la corriente eléctrica es la resistencia -- del alambre con el cual se fabrica el inductor. Si dicha resistencia es muy pequeña, como ocurre a menudo, pueden crearse condiciones de corto circuito, por lo cual, común-

mente es conectada una resistencia en serie con el inductor, lo cual trae como consecuencia un retardo adicional para que la corriente se establezca en su valor máximo I .

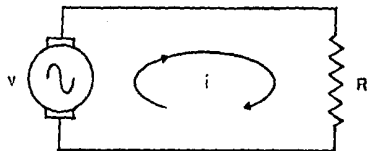
4.4 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA.

Hemos realizado hasta el momento un estudio del comportamiento de los diferentes elementos de un circuito cuando son alimentados por fuentes de corriente directa, así como también la forma de calcular los diferentes parámetros involucrados. Sin embargo, en la actualidad la mayor parte de la energía eléctrica consumida es de corriente alterna, razón por la cual es necesario realizar también un estudio elemental de los circuitos de este tipo.

Iniciaremos nuestro estudio de los circuitos de corriente alterna analizando el comportamiento individual de los elementos resistivos, inductivos y capacitivos cuando son alimentados con fuentes de corriente alterna, para después analizar circuitos típicos con un grado de dificultad mayor.

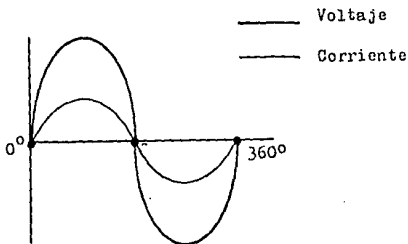
4.4.1 Circuitos resistivos.

Cuando conectamos un elemento que solo posee resistencia a una fuente de c.a., tenemos un circuito resistivo puro.



En el circuito mostrado, v e i son valores instantáneos y el sentido de la corriente es arbitrario y corresponde al de un medio ciclo cualesquiera, ya que después cambiará de sentido.

Si graficamos las formas de onda de la corriente y el voltaje podemos observar que se encuentran en fase, es decir, los valores máximos tienen lugar en el mismo instante.



Para una mayor comprensión, la duración de un ciclo es de 360 grados, ya que se trata de funciones senoidales que implican un ángulo en función del tiempo.

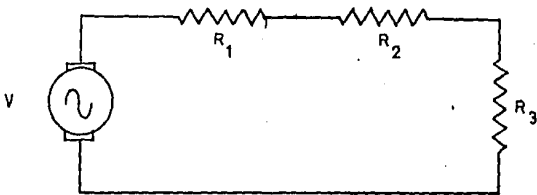
Por regla general, son empleados los valores efectivos de la corriente y el voltaje, ya que resulta mucho más complicado trabajar directamente con los valores instantáneos que con los efectivos. Debido a lo anterior, en este tipo de circuitos, la relación entre la corriente y voltaje está dada por la forma común de la ley de Ohm:

$$V = IR$$

V e I son los valores efectivos del voltaje y de la corriente, respectivamente.

Ejemplo 8

Para el circuito mostrado a continuación, encontrar los valores máximo y efectivo de la corriente que circula si la fuente tiene un voltaje efectivo de 110 voltios y una frecuencia de 60 hertz.



$$R_1 = 3 \text{ ohms}$$

$$R_2 = 1 \text{ ohms}$$

$$R_3 = 7 \text{ ohms}$$

Para encontrar el valor efectivo de la corriente, debemos sustituir las tres resistencias por una equivalente. - Para una conexión en serie:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 = 11 \text{ ohms}$$

Aplicando la ley de Ohms obtenemos:

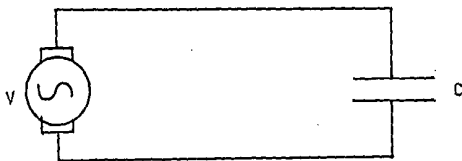
$$I = \frac{V}{R} = \frac{110}{11} = 10 \text{ amperes}$$

La corriente máxima la calculamos multiplicando el valor efectivo por la raíz de 2.

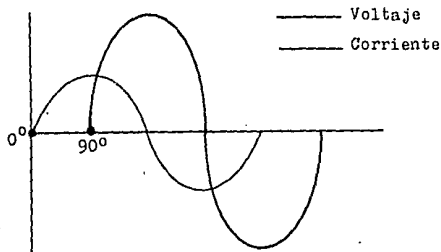
$$I_{\text{máx}} = (10)(\sqrt{2}) = 14.14 \text{ amperes}$$

4.4.2 Circuitos capacitivos.

Al conectar un capacitor a una fuente de c.a., éste se carga y descarga continuamente, ya que los electrones están en movimiento constante de una placa a la otra debido a que la corriente es alterna.



La corriente se hace cero cuando el voltaje es máximo, ya que el capacitor está cargado. En la parte de descarga del medio ciclo, la corriente es máxima cuando el voltaje es cero. En términos de la relación de fase, la corriente y el voltaje están desfasados 90 grados, ya que la separación entre sus valores máximos y mínimos siempre es de $1/4$ de ciclo. En un circuito capacitivo puro, la corriente adelanta al voltaje.



El efecto del capacitor es evitar los cambios en el vol-

taje mediante la acumulación de carga en las placas, lo --
cual reduce el flujo de corriente por el circuito.

La oposición, en ohms, a la corriente alterna en un cir-
cuito capacitivo se expresa en términos de la reactancia -
capacitiva X_C , la cual está dada por:

$$X_C = \frac{1}{(6.28) fC}$$

X_C = Reactancia capacitiva en ohms

f = Frecuencia de la fuente o de la corrien-
te

C = Capacitancia en farada

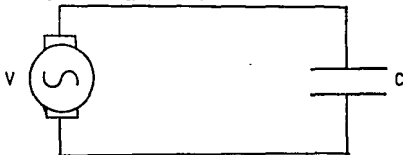
En un circuito capacitivo puro, la relación de la ley de
Ohm tiene la forma:

$$V = IX_C$$

Donde V e I son los valores efectivos de voltaje y co-
rriente, respectivamente.

Ejemplo 9

Calcular el valor del voltaje efectivo de la -
fuente del circuito, si la corriente efectiva que circula-
es de 5 amperes y su frecuencia de 100 hertz. El valor de-
 C es de 25 microfaradios.



Para encontrar el valor efectivo del voltaje de la fuente, necesitamos conocer la reactancia capacitiva del circuito.

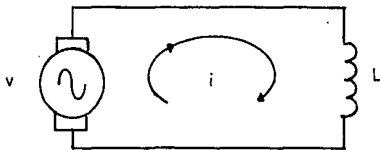
$$X_C = \frac{1}{(6.28)(100)(0.000025)} = 63.7 \text{ ohms}$$

Podemos calcular el voltaje de la fuente a partir de:

$$V = IX_C = (5)(63.7) = 318 \text{ voltios}$$

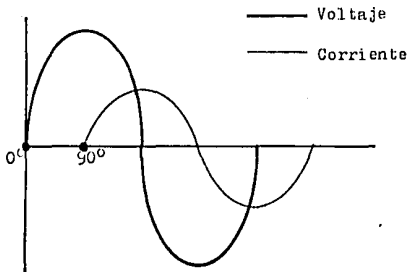
4.4.3 Circuitos inductivos.

Si un inductor es conectado a una fuente de c.a., el campo magnético asociado estará cambiando constantemente y -- también lo hará el flujo magnético a través de la bobina. -- Como resultado de lo anterior, se induce un voltaje llamado fuerza contraelectromotriz (f_{cem}), la cual se opone a -- los cambios en el flujo magnético.



Si graficamos v e i en el circuito, veremos que el voltaje es máximo cuando la corriente es cero y la corriente es máxima cuando el voltaje es cero.

Existe un desfase de 90 grados entre ambos y se dice que la corriente está atrasada con respecto al voltaje.



La oposición a la corriente alterna en un circuito inductivo se debe a la fcm que aparece en el inductor y que depende, principalmente, de la frecuencia del voltaje de la fuente así como también del valor de la inductancia.

La reactancia inductiva viene a ser la oposición, en --- ohms, que un inductor presenta a la c.a. Su símbolo es X_L y está dada por:

$$X_L = (6.28) f L$$

X_L = Reactancia inductiva en ohms.

f = Frecuencia de la fuente o de la corriente

L = Inductancia en henrios

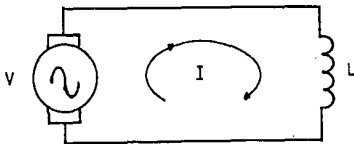
De manera similar a como ocurre en el caso capacitivo, - en un circuito inductivo puro, la relación de la ley de -- Ohm tiene la forma:

$$V = IX_L$$

Donde V e I son valores efectivos.

Ejemplo 10

Calcular el valor efectivo de la corriente --
que circula por el circuito mostrado.



$$V_{ef} = 110 \text{ voltios} \quad f = 60 \text{ hertz} \quad L = 10 \text{ mh}$$

Primeramente debemos calcular la reactancia inductiva --
del circuito.

$$X_L = (6.28)(60)(0.01) = 3.76 \text{ ohms}$$

La corriente, entonces, se obtiene de:

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{110}{3.76} = 29.25 \text{ amperes}$$

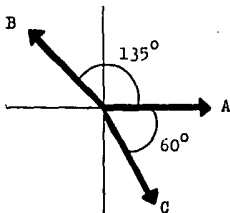
4.4.4 Representaciones vectoriales.

Como se recordará, un vector es una cantidad matemática--
que tiene magnitud, dirección y sentido.

Los vectores son muy útiles para expresar las diferen---
cias de fase existentes entre voltajes y corrientes alter-
nas. Cuando son utilizados con ese fin, el valor del voltaje
je o de la corriente constituyen la magnitud del vector.

Los vectores representativos de c.a. reciben el nombre de fasores, ya que representan magnitudes características de ondas senoidales. La longitud del vector muestra la amplitud, en tanto que el ángulo entre ellos indica la fase. Además, la posición de los vectores indica cuál de ellos está adelantado y cuál está atrasado.

Para graficar fasores dividimos los ejes coordenados en 360 grados que corresponden a un ciclo senoidal completo. El punto inicial o de referencia, de cero grados, está en el eje horizontal a la derecha y los ángulos de fase de otros vectores se comparan con esta referencia. Los vectores adelantados con respecto al vector de referencia se encuentran arriba del eje horizontal y los atrasados están a



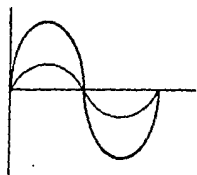
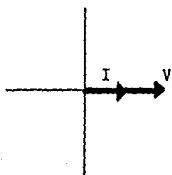
En la gráfica anterior, A es el vector de referencia. El vector B está adelantado 135 grados con respecto a A. Por otra parte, el vector C está atrasado 60 grados con respecto a A.

Para el estudio que estamos realizando, emplearemos vectores cuya longitud nos representen los valores efectivos de voltaje o corriente.

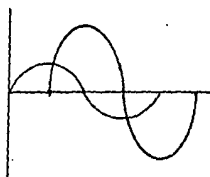
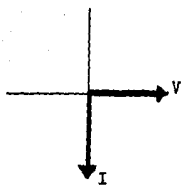
Aplicando lo anterior, las representaciones vectoriales de circuitos resistivos, capacitivos e inductivos puros, serán las siguientes:

REPRESENTACION VECTORIAL

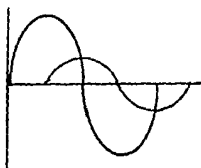
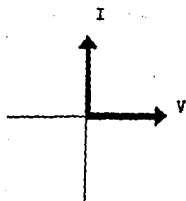
REPRESENTACION GRAFICA



Circuito resistivo



Circuito inductivo



Circuito capacitivo

4.4.5 Impedancia.

En los circuitos de c.a. estudiados hasta el momento, la única oposición al flujo de la corriente eléctrica es presentada por la resistencia o por cualquiera de las reactancias. En circuitos combinados, es decir, en aquellos que contienen resistencias inductancias y capacitancias interconectadas, la oposición total al flujo de la corriente se expresa en función de una cantidad llamada impedancia y la cual se calcula a partir de la resistencia y las reactancias existentes en el circuito.

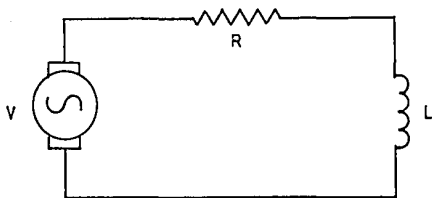
La impedancia se mide en ohms y generalmente se designa por la letra Z y se simboliza por medio de un rectángulo. En los circuitos estudiados a continuación, se mencionará la forma de calcular Z y las relaciones que existen entre ésta y la corriente y el voltaje del circuito.

4.4.6 Circuitos RL.

Los circuitos cuyos elementos están compuestos por resistencias e inductancias exclusivamente, reciben el nombre de circuitos RL. Los dos tipos de circuitos a estudiar en la presente sección son aquellos que tienen sus elementos conectados en serie o en paralelo.

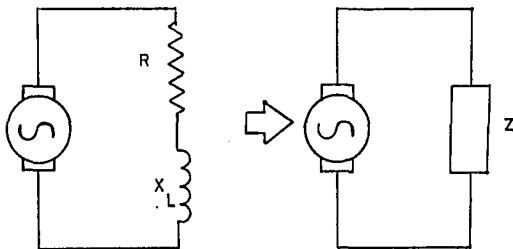
a. Circuitos RL en serie.

Un circuito que solo contenga resistencias e inductancias conectadas en serie, puede ser simplificado agrupando todas las resistencias así como las inductancias, sustituyéndolas por sus equivalentes y aparecer conectadas de la siguiente forma:



Al circuito mostrado en la figura se le dá el nombre de circuito RL en serie.

Si realizamos un pequeño análisis, veremos que es posible sustituir la resistencia y la reactancia inductiva del circuito por una impedancia única que represente la oposición total al flujo de corriente en el circuito



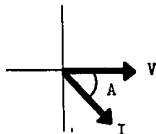
El valor de la impedancia, en ohms, para un circuito RL en serie está dado por:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

En este tipo de circuitos, la corriente siempre está en atraso con respecto al voltaje en un ángulo θ . Si el cir-

cuito fuera inductivo puro, dicho atraso sería de 90 grados. El ángulo de atraso de la corriente con respecto al voltaje depende de la resistencia así como de la reactancia inductiva y se determina por la siguiente función:

$$\tan A = \frac{X_L}{R}$$



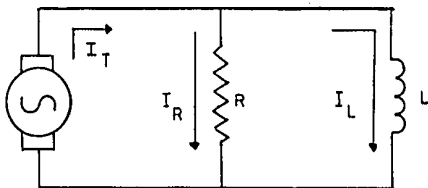
Se puede usar la ecuación de la ley de Ohm para resolver circuitos RL usando la impedancia Z en lugar de la resistencia y empleando solo valores efectivos. Por lo tanto:

$$V = IZ$$

Posteriormente se verá que esta relación es válida para circuitos que tienen capacitores, inductores y resistencias.

b. Circuitos RL en paralelo

Cuando en un circuito RL son conectados en paralelo con la fuente resistencias e inductancias, el circuito recibe el nombre de circuito RL en paralelo. Agrupando las resistencias y sustituyéndolas por una equivalente así como también agrupando inductancias y sustituyéndolas por su equivalente, se puede simplificar cualquier circuito y aparecer de la forma mostrada a continuación:



En la figura se muestran las corrientes que circulan por la rama resistiva e inductiva del circuito. La corriente total suministrada por la fuente es la suma vectorial de ambas y se calcula de la siguiente manera:

$$I_{TOTAL} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

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

$$I_L = \frac{V}{X_L}$$

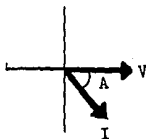
Tanto I_{TOTAL} como I_R e I_L son corrientes efectivas.

La impedancia de un circuito RL en paralelo se calcula a partir de la siguiente relación:

$$Z = \frac{RX_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

La corriente en este circuito al igual que en el serie, está atrasada con respecto al voltaje en un ángulo θ , el cual está relacionado por la siguiente función:

$$\tan A = \frac{R}{X_L}$$



Conociendo los valores efectivos de la corriente total suministrada por la fuente así como el voltaje de la misma, se puede calcular la impedancia directamente de:

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

Esta es la ley de Ohm en función de la impedancia del circuito.

c. Potencia en los circuitos RL.

En los circuitos RL, solo una parte de la potencia suministrada por la fuente se disipa en forma de calor. La parte transmitida a la inductancia regresa a la fuente cada vez que desaparece el campo magnético que se forma alrededor del conductor. Por lo tanto, existen dos clases de potencia en un circuito RL: la potencia aparente y la potencia real. La potencia real se expresa en vatios y la aparente en volt-amperes (VA). La potencia real es la que se disipa en forma de calor en la resistencia. Pueden calcularse ambas potencias a partir de las relaciones:

$$P_{\text{REAL}} = VI(\cos A) = I^2 Z(\cos A) = I^2 R$$

V = Voltaje efectivo de la fuente en voltios

- I = Corriente efectiva en amperes
- Z = Impedancia del circuito en ohms
- R = Resistencia del circuito en ohms
- A = Angulo entre la corriente y el voltaje

Las relaciones para el cálculo de la potencia aparente - vienen dadas por:

$$P_{\text{APARENTE}} = VI = \frac{V^2}{Z} = I^2 Z$$

- V = Voltaje efectivo de la fuente en voltios
- I = Corriente efectiva en amperes
- Z = Impedancia del circuito en ohms

El coseno de A, que es el coseno del ángulo en que la corriente atrasa al voltaje, se denomina factor de potencia y su valor varía entre 0 y 1. Los factores de potencia pequeños son inconvenientes ya que significa que la fuente está suministrando más potencia que la que es utilizada.

El factor de potencia se determina a partir de la relación siguiente:

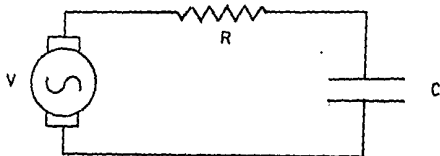
$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{Potencia real}}{\text{Potencia aparente}}$$

4.4.7 Circuitos RC

Los circuitos aquellos cuyos elementos son resistencias y capacitancias exclusivamente, reciben el nombre de circuitos RC.

a. Circuitos RC en serie.

En un circuito RC en serie, una o más resistencias están conectadas con una o más capacitancias formando un arreglo en serie de la siguiente manera:

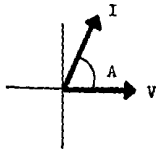


La impedancia en un circuito de este tipo se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

En este tipo de circuitos, la corriente siempre adelanta al voltaje en un ángulo A, el cual está relacionado por:

$$\tan A = \frac{X_C}{R}$$

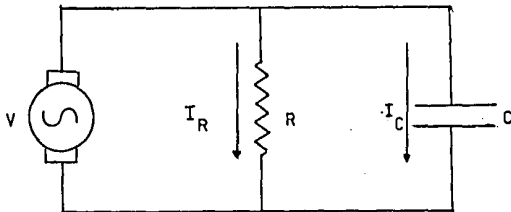


El valor de la corriente en un circuito serie RC se puede calcular a partir de la ley de Ohm si conocemos la impedancia y el voltaje efectivo de la fuente:

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

b. Circuitos RC en paralelo

En un circuito en paralelo RC, uno o más elementos resistivos se conectan en paralelo a uno o más elementos capacitivos. Simplificando el circuito, lo obtenemos de la forma:



Como se puede apreciar, el voltaje es el mismo en las -- terminales de los elementos y la corriente total suministrada por la fuente la podemos calcular a partir de:

$$I_{TOTAL} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

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

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

Si se conocen la impedancia del circuito y el voltaje aplicado, puede también calcularse la corriente total a partir de la ley de Ohm:

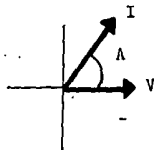
$$I_{TOTAL} = \frac{V}{Z}$$

La impedancia de los circuitos RC en paralelo se puede calcular por:

$$Z = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Al igual que en los circuitos RC en serie, en este tipo de circuitos la corriente adelanta al voltaje en un ángulo A, el cual se puede conocer de la siguiente función:

$$\tan A = \frac{R}{X_C}$$



c. Potencia en los circuitos RC.

La potencia de los circuitos RC puede ser calculada a partir de las relaciones estudiadas para los circuitos RL, ya que en los circuitos RC el campo eléctrico existente entre las placas del capacitor hace la función del campo magnético del inductor, existiendo, por consiguiente, potencia real y potencia aparente.

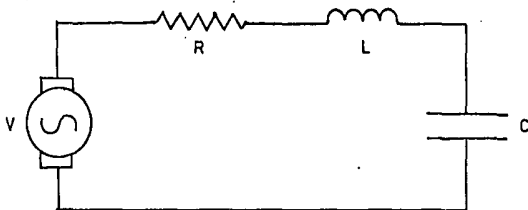
4.4.8 Circuitos RLC.

Este tipo de circuitos presenta características combinadas de los circuitos estudiados anteriormente. Como su nom

bre lo indica, estos circuitos contienen resistencias, inductancias y capacitancias interconectadas. Los podemos encontrar en serie y en paralelo.

a. Circuitos RLC en serie.

Los circuitos donde la inductancia, capacitancia y resistencia están todas en serie a una fuente de c.a., reciben el nombre de circuitos RLC en serie y su arreglo típico es el siguiente:



La impedancia en estos circuitos es la suma vectorial de la reactancia inductiva, la reactancia capacitiva y la resistencia.

Podemos hablar de una reactancia neta designada con X y que se obtiene restando la reactancia más pequeña de la mayor. Por lo tanto:

$$X = X_L - X_C$$

Si X_L mayor que X_C

6

$$X = X_C - X_L$$

Si X_C mayor que X_L

Por lo tanto, la impedancia puede ser encontrada por:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

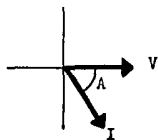
En donde X es la reactancia neta.

Cuando X_L es mayor que X_C , la reactancia neta es inductiva y el circuito se comporta esencialmente como un circuito RL. Esto significa que la corriente atrasa al voltaje en un ángulo A .

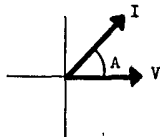
Cuando X_C es mayor que X_L , la reactancia neta es capacitiva y el circuito se comporta como un circuito RC, lo cual significa que la corriente está adelantada con respecto al voltaje en un ángulo A .

El ángulo A puede conocerse de:

$$\tan A = \frac{X}{R}$$



X_L mayor que X_C



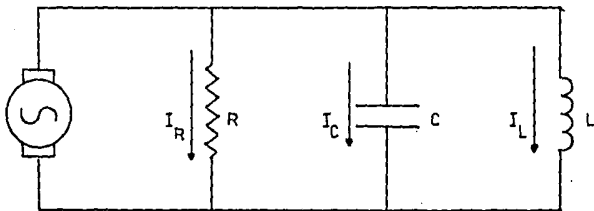
X_C mayor que X_L

Se cumple también para este caso la relación de la ley de Ohm:

$$V = IZ$$

b. Circuitos RLC en paralelo

En este tipo de circuitos, los elementos resistivos, inductivos y capacitivos están conectados en paralelo a la fuente como se muestra en la figura:



La corriente total que la fuente hace circular por el -- circuito está dada por:

$$I_{TOTAL} = \sqrt{I_R^2 + I_{LC}^2}$$

En donde I_{LC} se calcula de la siguiente manera:

$$I_{LC} = I_L - I_C \quad \text{si } I_L \text{ es mayor que } I_C$$

ó

$$I_{LC} = I_C - I_L \quad \text{si } I_C \text{ es mayor que } I_L$$

Para calcular I_R , I_L e I_C , podemos aplicar las siguientes relaciones:

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

$$I_L = \frac{V}{X_L}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

La impedancia del circuito puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación, válida solo para circuitos RLC - en paralelo:

$$Z = \frac{(X)(R)}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

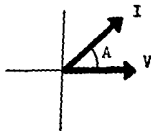
En donde X, la reactancia neta del circuito es obtenida de:

$$X = \frac{(X_C)(X_L)}{X_L + X_C}$$

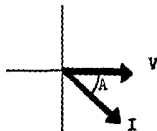
Para la aplicación de la fórmula anterior, a la reactancia inductiva se le asigna un signo positivo y a la reactancia capacitiva un signo negativo.

Entonces, si la impedancia es positiva, la corriente atrasa al voltaje en un ángulo A. Si la impedancia es negativa, la corriente está adelantada con respecto al voltaje. El ángulo A se puede obtener de la función:

$$\tan A = \frac{R}{X}$$



Si Z es negativa



Si Z es positiva

c. Potencia en los circuitos RLC.

En un circuito RLC, la potencia transmitida a la inductancia y a la capacitancia también regresan a la fuente, pero cierta cantidad de potencia es disipada en forma de calor por la resistencia. Como ya se mencionó, esa potencia disipada recibe el nombre de potencia real.

Para hacer los cálculos de potencia en este tipo de circuitos, empleamos las fórmulas estudiadas anteriormente.

CAPITULO 5

TRANSFORMADORES

5.1 GENERALIDADES.

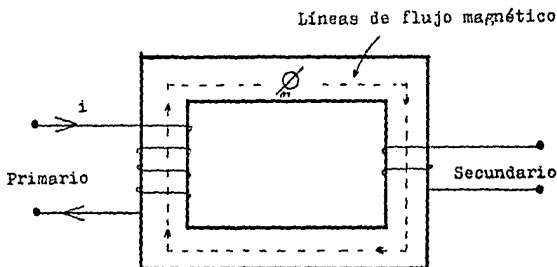
El transformador es uno de los aparatos eléctricos de -- c.a. de mayor uso en la actualidad. Podemos decir que es el soporte en el cual se basan los sistemas de generación y distribución de energía eléctrica empleados hasta el momento. Sus usos son variados y por lo tanto, sus formas y tamaños son muy diversos. Los podemos encontrar desde aquellos que pesan varias toneladas y ocupan grandes espacios, hasta aquellos diminutos encontrados en la mayoría de los aparatos electrónicos de uso doméstico e industrial. Su -- principal empleo es el de reducir o aumentar voltajes alternos.

Definimos un transformador como un dispositivo que permite convertir energía eléctrica de un voltaje o corriente dados, en energía eléctrica a otro voltaje o corriente sin utilizar partes giratorias y manteniendo constante la frecuencia.

El transformador es considerado como una máquina eléctrica estática. Una máquina es un dispositivo que transforma un tipo de energía en otra. En un transformador no existe tal cambio en el tipo de energía, mas sin embargo, sí existe una transformación en cuanto a las características de dicha energía y por tal es considerado como máquina estática.

En la siguiente figura es mostrado un transformador elemental, el cual consiste de un núcleo de material magnético y de dos devanados o arrollamientos, a los cuales se --

les dá el nombre de primario y secundario. El devanado primario del transformador es aquél que se conecta a la fuente de energía y el secundario es el que suministra la energía a la carga conectada al mismo.



Cuando el primario del transformador es conectado a una fuente de c.a., circula una corriente de ese tipo por el devanado, lo cual produce un campo magnético que cambia continuamente en magnitud y dirección. Las líneas de fuerza magnética asociadas con el campo son transmitidas a través del núcleo formando un circuito magnético cerrado.

Podemos imaginar el campo magnético alterno como expandiéndose y contrayéndose continuamente. Como el circuito magnético es cerrado, la variación del campo magnético es la misma en cualquier parte del núcleo.

Las variaciones en el campo traen como consecuencia variaciones en el flujo magnético a través del devanado del secundario, y esto a su vez, induce una fem en el secunda-

rio de acuerdo a la ley de Faraday. Es muy importante hacer notar que existe un aislamiento eléctrico total entre los arrollamientos primario y secundario y que el funcionamiento es debido exclusivamente a un fenómeno de inducción electromagnética.

Dependiendo del número de espiras del primario y del secundario, el voltaje inducido en este último puede ser mayor, menor o igual al voltaje del primario.

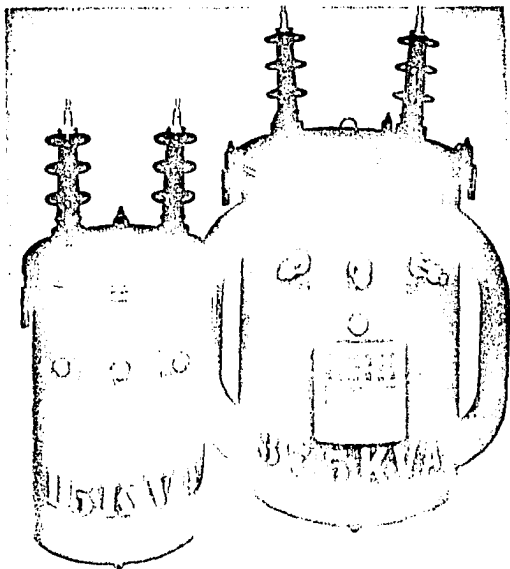
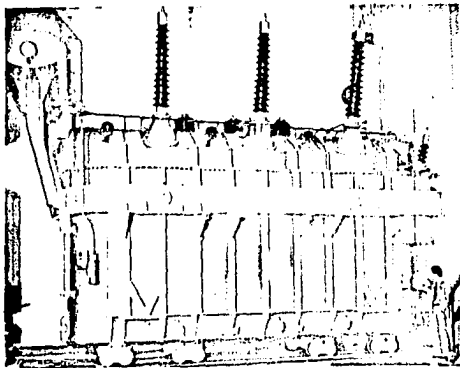
Un transformador en el cual el voltaje del secundario es menor que el voltaje del primario recibe el nombre de ---- transformador reductor. Cuando el voltaje del secundario es mayor que el del primario, se dice que el transformador es elevador. Por último, el transformador cuyos voltajes primario y secundario son iguales recibe el nombre de ---- transformador de relación unidad.

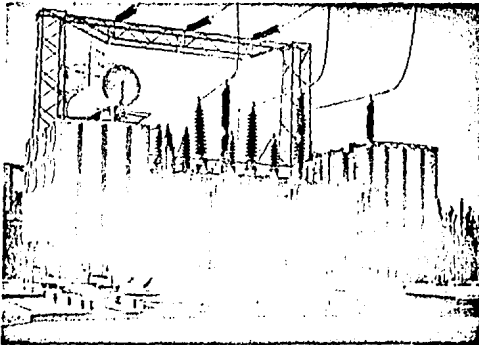
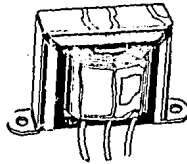
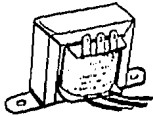
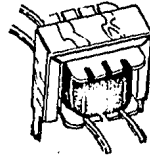
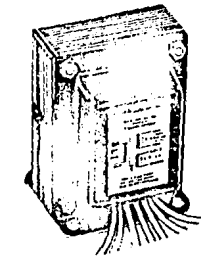
5.2 CLASIFICACION GENERAL.

Los transformadores pueden ser clasificados de la siguiente manera:

1. Por la forma de su núcleo:
 - a. Tipo columnas.
 - b. Tipo acorazado.
 - c. Tipo envolvente.
 - d. Tipo radial.
2. Por el número de fases:
 - a. Monofásico.
 - b. Trifásico.

3. Por el número de devanados:
 - a. Dos devanados.
 - b. Tres devanados.
4. Por el medio refrigerante:
 - a. Aire.
 - b. Aceite.
 - c. Líquido inerte.
5. Por el tipo de enfriamiento:
 - a. Enfriamiento OA.
 - b. Enfriamiento OW.
 - c. Enfriamiento OW/A.
 - d. Enfriamiento OA/AF.
 - e. Enfriamiento OA/FA/FA.
 - f. Enfriamiento FOA.
 - g. Enfriamiento OA/FA/FOA.
 - h. Enfriamiento FOW.
 - i. Enfriamiento A/A.
 - j. Enfriamiento AA/FA.
6. Por la regulación:
 - a. Regulación fija.
 - b. Regulación variable con carga.
 - c. Regulación variable sin carga.
7. Por la operación:
 - a. De potencia
 - b. De distribución.
 - c. De instrumento.
 - d. De horno eléctrico.





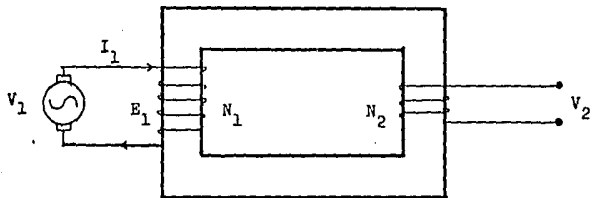
En este capítulo nos dedicaremos al estudio de los transformadores de potencia y distribución por ser aquellos con los cuales el técnico electricista estará mas en contacto. Cabe hacer la aclaración, sin embargo, que solo difieren - de los demás transformadores en cuanto a tamaño y construcción.

5.3 OPERACION Y CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR.

En el transcurso de esta sección estudiaremos más deta--lladamente la operación de los transformadores así como algunas características relacionadas con ellos.

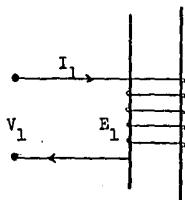
5.3.1 Transformador con secundario abierto.

Consideremos a continuación, el transformador de la figura con el primario P de N_1 espiras y el secundario S de N_2 espiras y con el secundario abierto.



Puesto que en este caso no circulará corriente alguna --

por el secundario, el efecto, en lo que al primario se refiere, será el mismo que si no existiese el secundario, -- por lo que en tales condiciones el primario funciona esencialmente como un inductor.



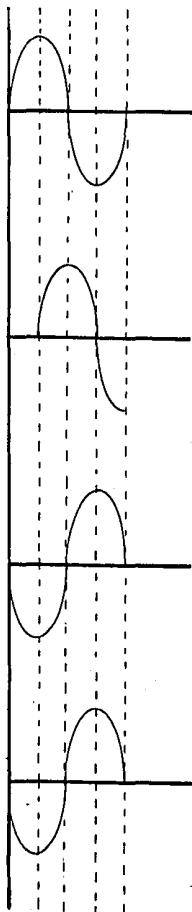
Representación del devanado primario como un inductor.

Lo anterior trae como consecuencia que la corriente del primario, I_1 , esté atrasada 90° con respecto al voltaje aplicado V_1 .

Por otra parte, se induce una fuerza contraelectromotriz E_1 en el devanado primario, la cual se opone al voltaje aplicado V_1 . Por lo tanto, el voltaje aplicado y la fem inducida son de polaridad opuesta. La mayoría de los transformadores se diseñan para que tengan una elevada fem inducida en el primario cuando se abre el secundario, de manera que la corriente del primario sea muy pequeña y no dañe el devanado.

El voltaje inducido en el secundario, V_2 , está atrasado 90° con respecto a la corriente del primario y en consecuencia, está en fase con la fem inducida en el primario.

En la siguiente hoja son mostradas las relaciones de fase existentes en un transformador cuyo secundario está abierto.



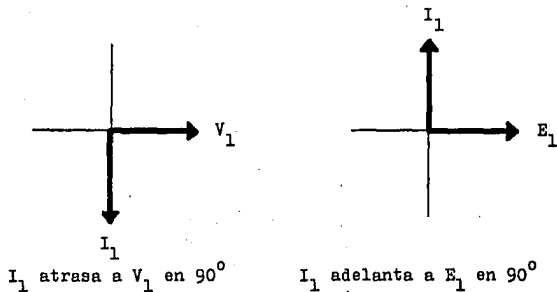
Voltaje aplicado al primario (V_1)

Corriente en el primario (I_1)

Fcem inducida en el primario (E_1)

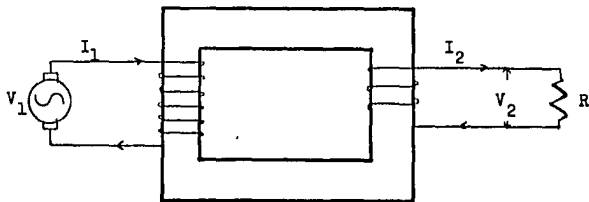
Voltaje inducido en el secundario (V_2)

Si tomamos en cuenta los valores efectivos, obtenemos -- los siguientes diagramas vectoriales:



5.3.2 Transformador con secundario cargado.

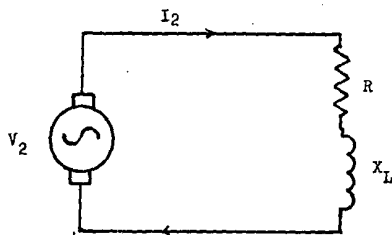
Cuando es conectada una carga al secundario de un transformador, circula por ese devanado una corriente I_2 .



Explicaremos a continuación lo que sucede en el transformador para lo cual, y por simplicidad, tomaremos una carga puramente resistiva.

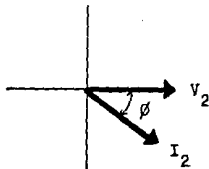
Desde el punto de vista del secundario y tomando éste en forma aislada, veremos que su comportamiento es el de un circuito RL en serie, en donde la inductancia L es la correspondiente al devanado y la resistencia R a la carga.

Llamaremos V_2 al voltaje inducido en el secundario e I_2 a la corriente que circula por él.

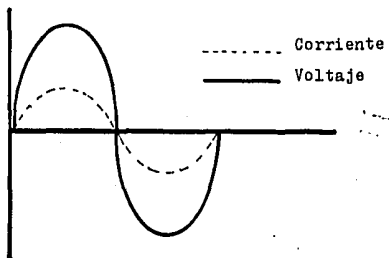


La corriente en el secundario en este tipo de circuitos, atrasa en un ángulo ϕ al voltaje V_2 . El ángulo de atraso - como se vió en el capítulo 4, depende de la resistencia y de la reactancia inductiva y se basa en la siguiente relación:

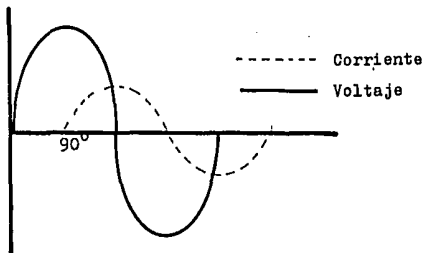
$$\tan \phi = \frac{X_L}{R}$$



Si la resistencia es muy grande, la corriente I_2 disminuye en su valor y el ángulo ϕ se hace cero con lo cual llegan a estar en fase V_2 e I_2 .



Si la resistencia de la carga es muy pequeña, la corriente que circulará será muy grande y el desfase entre V_2 e I_2 llega a ser de 90° .



Si la carga no fuera puramente resistiva, entonces se -- tendría que sustituir la resistencia del circuito por una impedancia a la cual se debe añadir la reactancia inductiva del devanado. De acuerdo a las características de la im

pedancia resultante, la corriente del secundario puede atrasar, adelantar o estar en fase con V_2 , el voltaje del secundario. Para realizar cálculos y diagramas vectoriales en esas condiciones, debe tomarse en cuenta lo expuesto en el capítulo referente a circuitos.

Por otra parte, al circular corriente por el secundario de un transformador y ser alterna, dicha corriente genera su propio campo magnético cuyas líneas de fuerza se oponen a las del campo magnético producido por la corriente del primario. Esto reduce la intensidad del campo magnético primario y como resultado, la fem inducida E_1 disminuye en su valor. Al disminuir E_1 la corriente del primario aumenta en proporción directa a la corriente que circula por el secundario. De lo anterior se deduce que al aumentar la corriente del secundario de un transformador, la corriente del primario también aumenta automáticamente. Cuando el secundario de un transformador se conecta en corto circuito, la corriente que fluye por el primario aumenta considerablemente y entonces, no solamente se quemará el transformador sino que existe la posibilidad de que la fuente que alimenta al primario también resulte dañada.

5.3.3 Relación de transformación.

En un transformador, los voltajes inducidos tanto en el primario como en el secundario se relacionan mediante:

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

La ecuación anterior recibe el nombre de relación de --- transformación y nos dice que los voltajes inducidos, primario y secundario, se relacionan entre sí por el número - de espiras del primario y del secundario.

Si consideramos un transformador ideal, es decir, un --- transformador en el cual la potencia de entrada es igual a la de salida, podemos hacer la siguiente aproximación:

$$(E_1)(I_1) = (E_2)(I_2)$$

Tomando esa relación como base y sustituyendo valores -- llegamos a lo siguiente:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{entonces} \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

A las relaciones anteriores de voltaje y número de espiras se le asigna una letra "a", la cual es conocida como - la relación de transformación, es decir:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Como los voltajes de entrada V_1 y salida V_2 son casi i-- guals a los respectivos voltajes inducidos, la relación - de voltajes terminales V_1/V_2 frecuentemente es llamada tan bién relación de transformación.

5.3.4 Regulación de voltaje.

1. Pérdidas en el cobre. (devanados)

Las pérdidas en el cobre de un transformador son llamadas así por ser causadas por la resistencia de los devanados primario y secundario debido al calentamiento producido en dichos devanados cuando fluyen, durante el funcionamiento del transformador, las corrientes primaria y secundaria. Estas pérdidas I^2R pueden reducirse al mínimo devanando el primario y el secundario del transformador -- con alambre que tenga área transversal amplia, aunque esto aumenta el tamaño y el peso del transformador.

2. Pérdidas en el núcleo.

Las pérdidas en el núcleo de un transformador pueden ser producidas por dos fenómenos distintos: histéresis y corrientes parásitas.

a. Pérdidas por histéresis.

Como se mencionó en el primer capítulo, podemos imaginar un material magnético compuesto por pequeñas moléculas o dominios magnéticos, los cuales tienden a orientarse en dirección de un campo magnético externo. Por lo tanto, cada vez que se invierte la dirección de magnetización del núcleo, las moléculas magnéticas giran para alinearse en la nueva dirección de las líneas de fuerza.

Sin embargo, las moléculas no siguen exactamente las inversiones del campo magnético. El atraso de la orientación de las moléculas con respecto a la orientación del campo recibe el nombre de histéresis. La energía que debe proporcionarse a las moléculas para que giren y traten realmente de alinearse al campo magnético es tomada de la entrada -- del transformador y por esa razón son consideradas como --

La regulación de voltaje se define como el cociente de la diferencia entre el voltaje primario dividido por la relación de transformación "a" menos el voltaje secundario - V_2 a plena carga y multiplicado por cien, para expresarse en porcentaje.

También se puede definir como la cantidad de incremento con el devanado secundario abierto para mantener constante el voltaje en el secundario, cuando se aplica carga, expresada en porcentaje.

$$\% \text{ Regulación} = \frac{V_2 \text{ (vacío)} - V_2 \text{ (plena carga)}}{V_2 \text{ (plena carga)}} \times 100$$

o bien:

$$\% \text{ Regulación} = \frac{(V_1)/a - V_2 \text{ (plena carga)}}{V_2 \text{ (plena carga)}} \times 100$$

5.3.5 Pérdidas de potencia en un transformador.

En un transformador, al no haber partes en movimiento, no existen pérdidas de potencia en cuanto a fricción se refiere, mas sin embargo, existen otro tipo de factores productores de pérdidas, las cuales pueden ser minimizadas para poder obtener a la salida casi toda la potencia de entrada.

Las pérdidas de potencia en un transformador las podemos dividir como pérdidas en el cobre y pérdidas en el núcleo.

pérdidas.

Las pérdidas por histéresis dependen principalmente del tipo de material con que se fabrique el núcleo así como de la frecuencia de trabajo.

b. Pérdidas por corrientes parásitas.

Puesto que el hierro utilizado en el núcleo de un transformador es un material conductor, el campo magnético variable hace que circulen pequeñas corrientes inducidas dentro del núcleo y que son llamadas corrientes parásitas.

Estas corrientes producen calentamiento en el núcleo debido a la resistencia del mismo. Esa energía calorífica disipada es tomada de la entrada y por lo tanto representa pérdidas.

Para eliminar dichas pérdidas, las corrientes parásitas se reducen laminando el núcleo y cubriendo dichas laminaciones con un revestimiento aislante.

5.3.6 Eficiencia del transformador.

La eficiencia de una máquina eléctrica se define como la relación de su salida a su entrada:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{\text{Salida}}{\text{Salida} + \text{Pérdidas}}$$

En el caso particular del transformador y en términos de potencia tenemos que:

$$\text{Eficiencia} = \frac{P_s}{P_s + P_n + P_c}$$

$$P_s = \text{Potencia de salida}$$

$$P_n = \text{Pérdidas en el núcleo}$$

$$P_c = \text{Pérdidas en el cobre}$$

Las pérdidas en el núcleo son la suma de las pérdidas -- por histéresis P_h y las pérdidas por corrientes parásitas- P_e . Si sabemos que:

$$\text{Pérdidas en el núcleo} = P_h + P_e = P_o$$

$$\text{Pérdidas en el cobre} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$$

$$\text{Potencia de salida} = V_2 I_2 (\cos \phi)$$

Sustituyendo valores, la eficiencia la podemos representar de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{V_2 I_2 (\cos \phi)}{V_2 I_2 (\cos \phi) + P_o + I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2}$$

5.3.7 Capacidad de los transformadores.

Los transformadores se clasifican por los kilovoltamperes (kVA) que son capaces de ceder. Si un transformador alimenta una carga cuyo factor de potencia sea 1 (100%), -- los kilovatios (kW) coincidirán con los kilovoltamperes de salida. Si la carga presenta un factor de potencia menor, -- los kilovatios de salida serán menores que los kilovoltamperes de salida en la misma proporción en que el factor de

potencia lo sea con respecto a la unidad.

5.4 CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LOS TRANSFORMADORES.

En general, un transformador está compuesto por las siguientes partes:

a. Núcleo magnético. Es el principal responsable de la transferencia de energía de un circuito a otro. Su función es la de conducir el flujo activo.

b. Bobinados. Los bobinados constituyen los circuitos de alimentación y carga; pueden ser de una, dos o tres fases y, por la corriente y número de espiras pueden ser de alambre delgado, grueso o de barra. Generalmente, los devanados se designan simplemente como el de baja tensión (B.T.) y alta tensión (A.T.). El devanado de alta tensión es el que se calcula para el voltaje más elevado, y el de baja tensión para el voltaje más pequeño.

c. Tanque. El tanque o recipiente es un elemento indispensable en aquellos transformadores cuyo medio de refrigeración no es el aire; sin embargo, puede prescindirse de él en casos especiales. Su función es la de radiar el calor producido en el transformador.

d. Boquillas terminales. La boquilla permite el paso de la corriente a través del transformador y evita que haya un escape indebido de corriente.

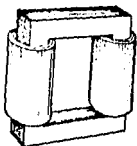
e. Medio refrigerante. El medio refrigerante debe ser buen conductor de calor; puede ser líquido, sólido o semi-sólido.

f. Conmutadores y auxiliares. Los conmutadores, cambiadores de derivaciones o taps, son órganos destinados a cam--

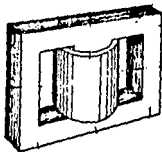
biar la relación de voltajes de entrada y salida, con objeto de regular el potencial de un sistema o la transferencia de energía entre los sistemas interconectados. Existen de dos tipos: el sencillo, de cambio sin carga, y el perfeccionado, de cambio con carga por medio de señal, o automático.

g. Indicadores. Los indicadores son aparatos que nos señalan el estado del transformador. Por ejemplo, marcan el nivel del líquido, la temperatura, la presión, etc.

De acuerdo a la disposición relativa del núcleo y los devanados de un transformador, existen dos tipos principales que son: acorazado y no acorazado. La diferencia entre ambos puede establecerse de la siguiente manera: el no acorazado es aquel en el cual los devanados rodean al núcleo, - mientras que en el acorazado es el núcleo el que rodea a los devanados.



No acorazado

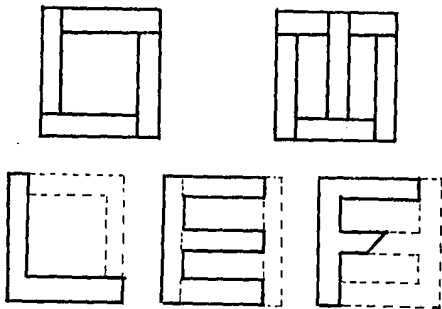


Acorazado

Los transformadores de tipo acorazado requieren de condiciones de construcción más especializadas que las del tipo no acorazado, mientras que este último ofrece las ventajas adicionales de permitir la inspección visual de las bobinas en caso de avería, así como una mayor facilidad para efectuar reparaciones. Por estas razones, actualmente se -- tiende hacia el empleo de transformadores del tipo no acorazado, especialmente en las grandes unidades de alta tensión.

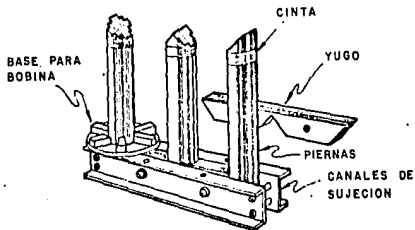
5.4.1 Construcción de núcleos.

Los núcleos de los transformadores para elevadas potencias, se construyen de tiras rectangulares recortadas de láminas de acero al silicio que luego se montan para formar el núcleo.



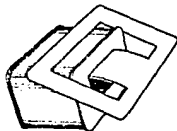
Si las dimensiones totales del núcleo no son demasiado grandes, las tiras pueden tener forma de L, o bien, pueden tener forma de E o F para los pequeños transformadores acorazados.

Los transformadores no acorazados que emplean chapas con cortes rectangulares se arman apilando en forma de U las láminas para formar los brazos y conexión inferior, encajando después las bobinas preconstruidas y con su protección aislante.



DETALLE DE ARMADO DEL NUCLEO

Para armar los transformadores acorazados, las bobinas con su protección aislante se encajan verticalmente y las láminas, puestas horizontalmente, se van apilando capa a capa alrededor de las bobinas.

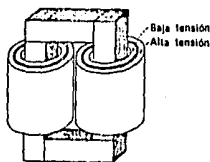


MONTAJE DE LAMINACION
EN NUCLEO ACORAZADO

El acero al silicio de las láminas que se emplea en estos transformadores tiene una aleación del 4 al 5% de silicio; éste elimina el efecto de envejecimiento, es decir, - el aumento gradual de las pérdidas en el núcleo en condiciones de trabajo. El espesor de las chapas es del orden de 0.355 mm.

5.4.2 Disposición de los devanados.

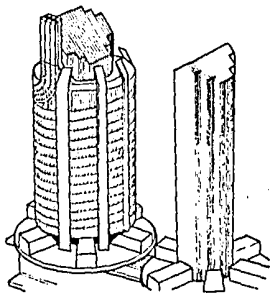
En los transformadores no acorazados, cada rama del núcleo se devana con un grupo de bobinas formadas por espiras primarias y secundarias, que pueden ser cilindros concéntricos como se muestra en la figura:



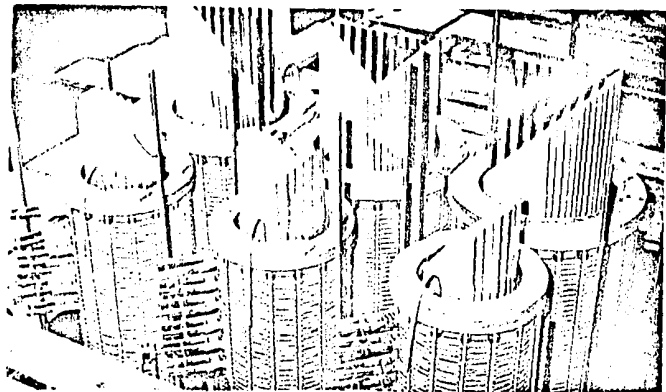
El devanado de B.T. está situado cerca del núcleo, mientras que el devanado de A.T. lo está sobre la parte exterior.

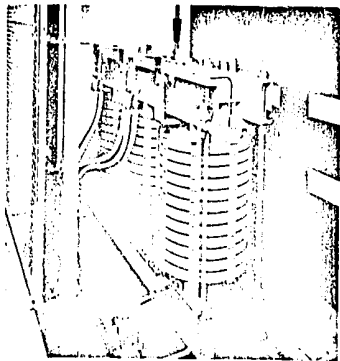
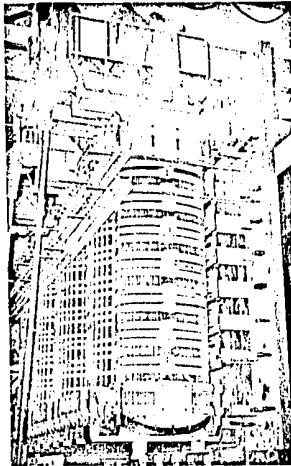
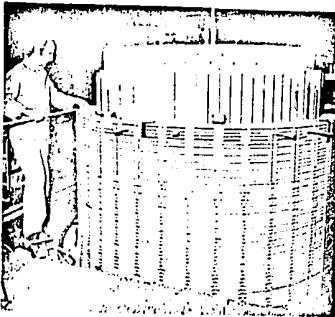
En los transformadores de gran capacidad para voltajes muy elevados, se emplean bobinas de disco, especialmente para el devanado de A.T. El conductor hecho de tiras de co

bre, generalmente con doble cubierta de algodón, se devana en espiral. A ir montado las bobinas, las terminales interiores deben conectarse entre sí y las exteriores igualmente para que el campo magnético sea aditivo, es decir, las líneas de fuerza se suman, ya que de lo contrario tenderían a anularse.



MONTAJE DE BOBINAS AL TRANSFORMADOR





5.4.3 Enfriamiento de los transformadores.

De acuerdo al tipo de enfriamiento empleado en los transformadores, éstos pueden ser, en general, de tipo seco o de aceite. En los primeros se utilizan corrientes de aire y la radiación propia de la caja envolvente. En los segundos, es usado aceite ya que proporciona mejor aislamiento y mejor conducción del calor que el aire. A partir de lo anterior, encontramos los siguientes tipos de enfriamiento para transformadores:

a. Tipo OA

Sumergido en aceite con enfriamiento propio. Por lo general en transformadores de más de 50 kVA se usan tubos radiadores o tanques corrugados para disminuir las pérdidas. Este tipo de transformador con voltajes menores de 46 kV, puede estar enfriado por líquido inerte aislante en vez de aceite. El transformador tipo OA es el tipo básico y sirve como norma para capacidad y precio de los otros.

b. Tipo OA/FA

Sumergido en aceite con enfriamiento propio mediante aire forzado. Este es básicamente un transformador tipo OA con adición de ventiladores para aumentar la capacidad de disipación del calor.

c. Tipo OA/FA/FOA

Sumergido en aceite con enfriamiento propio a base de aire forzado y aceite forzado. Este es un transformador OA al cual se le han añadido ventiladores y mediante bombas se hace circular el aceite.

d. Tipo FOA

Sumergido en aceite y enfriado por aceite a presión y -- con enfriador de aire forzado. Este tipo de transformado-- res se usa únicamente donde se desea que operen al mismo - tiempo las bombas de aceite y los ventiladores.

e. Tipo OW

Sumergido en aceite y enfriado por agua. En este tipo de transformadores el agua de enfriamiento es conducida por - serpentines, los cuales están en contacto con el aceite -- aislante del transformador. El aceite circula alrededor de los serpentines por convección natural.

f. Tipo AA

Tipo seco con enfriamiento propio, no contiene aceite ni otros líquidos para enfriamiento; son usados en voltajes - nominales menores de 15 kV, en pequeñas capacidades.

g. Tipo AFA

Tipo seco, enfriado por aire forzado. Estos transformado res tienen una capacidad simple basada en la circulación - de aire forzado por ventiladores o sopladores.

A continuación se muestran las partes de un transforma-- dor monofásico tipo poste marca IEM de 10 KVA.

Dimensiones y características.

Alto: 922 mm

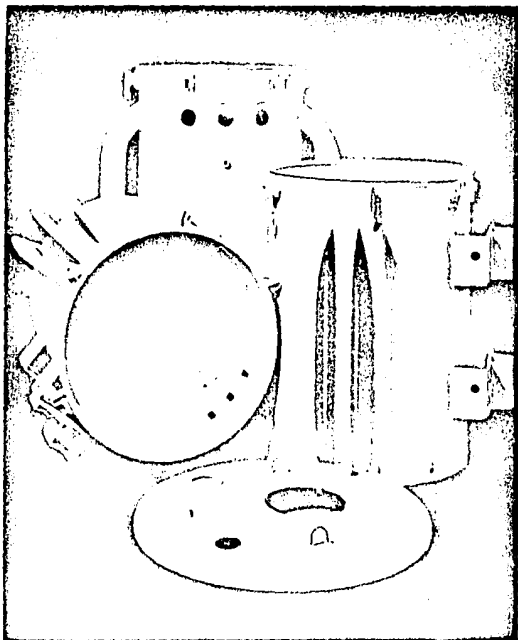
Frente: 461 mm

Fondo: 597

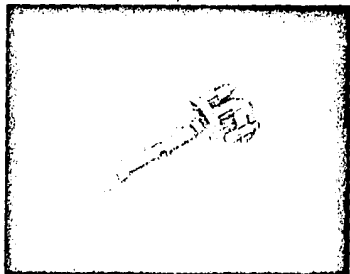
Aceite: 39 lts

Peso total: 135 kg

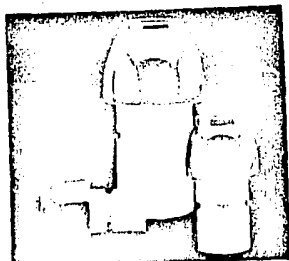
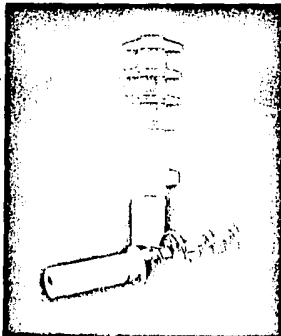
TANQUE



Cambiator de Derivaciones Tipo Rodillo

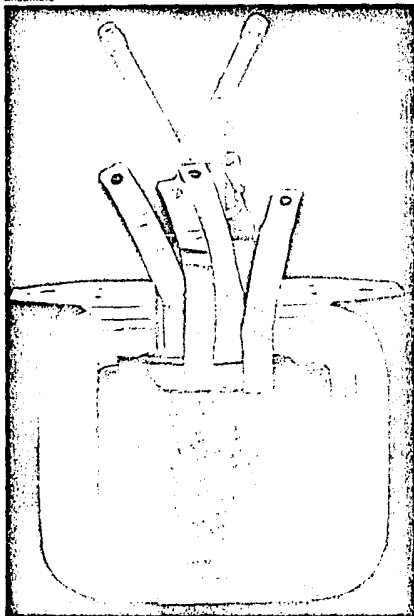


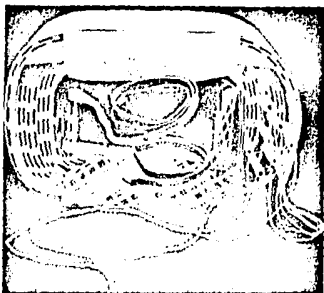
Boquillas de Alta Tensión



Boquillas de Baja Tensión

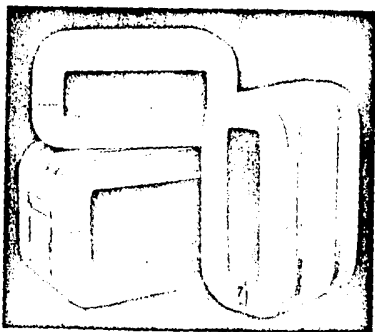
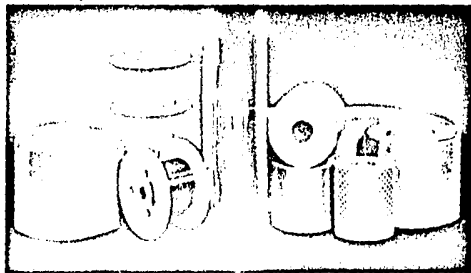
Ensamble





Bobina

Conductores y Aislamientos



Núcleo

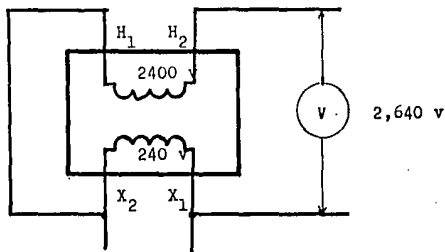
5.5 CONEXIONES TRIFASICAS DE TRANSFORMADORES.

5.5.1 Polaridad.

La polaridad de los transformadores es simplemente una - indicación del sentido de circulación de la corriente desde una terminal en cada instante.

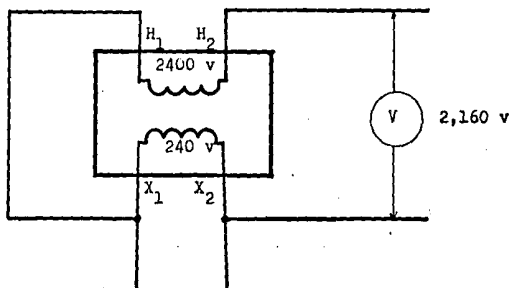
Colocándose frente al lado de alta tensión de un transformador, la terminal de alta tensión de la derecha está - siempre marcada H_1 y la otra terminal de alta tensión está marcada H_2 . Esto constituye una norma establecida.

Por definición, la polaridad es aditiva si al conectar - las terminales de alta y baja tensión adyacentes y excitar el transformador, un voltímetro situado entre las otras -- dos terminales adyacentes señala la suma de voltajes de -- los devanados de alta y baja tensión. Para polaridad aditiva, la terminal de baja tensión de la izquierda, mirando - desde el lado de baja tensión estaría marcado con X_1 .



Para polaridad sustractiva, el voltímetro señalaría la -

diferencia entre los voltajes de los dos devanados. En otras palabras, los voltajes se restan. En el caso de polaridad sustractiva, la terminal de baja tensión de la izquierda, mirando desde el lado de baja tensión estaría marcado con X_1 .



5.5.2 Transformadores monofásicos en conexiones trifásicas.

En los sistemas de potencia, a menudo es necesaria la instalación de bancos de transformadores monofásicos en conexiones trifásicas.

Las cuatro formas normales de conectar un banco trifásico son:

- a. Conexión delta-delta.
- b. Conexión estrella-estrella.
- c. Conexión delta-estrella.
- d. Conexión estrella-delta.

Para formar un banco de transformadores es necesario se-

cumplan los siguientes requisitos:

1. Que los transformadores tengan la misma capacidad en-KVA.
2. Que sean iguales sus voltajes primario y secundario.
3. Que sus marcas de polaridad sean idénticas.

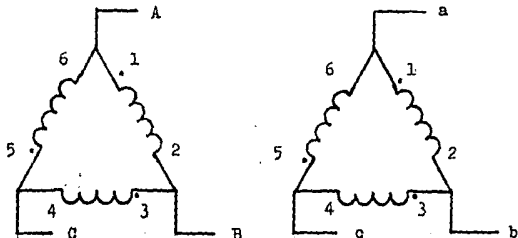
A continuación, hablaremos brevemente de las conexiones-antes mencionadas.

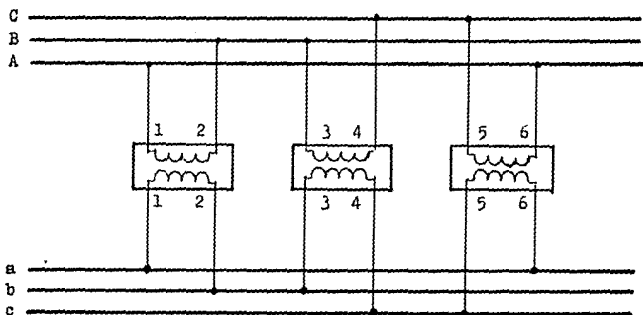
a. Conexión delta-delta. (Δ - Δ)

Este tipo de conexiones se utiliza generalmente en sistemas cuyos voltajes no son muy elevados, sobre todo en aquellos casos en que es necesario mantener la continuidad de un sistema. Esta conexión se emplea tanto para elevar el voltaje como para reducirlo.

En caso de alguna avería o cuando es necesaria alguna reparación, la conexión delta-delta se puede convertir en una conexión delta abierta-delta abierta.

A continuación es mostrado el diagrama de conexiones:

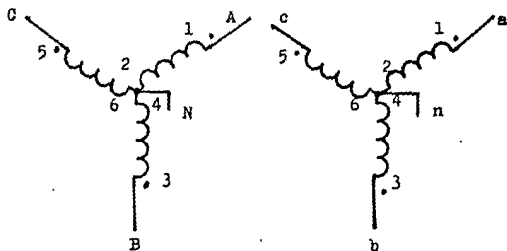


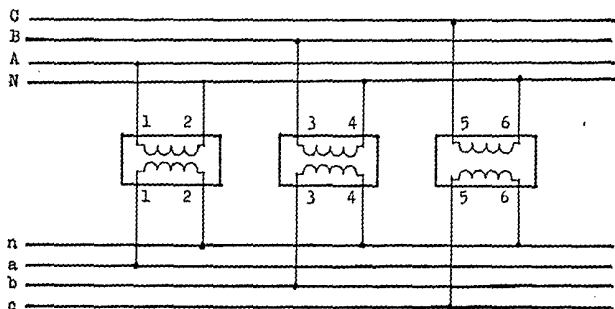


Si los voltajes aplicados a los primarios son iguales, - los voltajes de los secundarios estarán también equilibra- dos siempre que la carga sea la misma en cada una de las - fases. Se dice entonces que el sistema está equilibrado.

b. Conexión estrella-estrella. ($Y-Y$)

En este tipo de conexión, los devanados de los transfor- madores se conectan como lo muestra el siguiente diagrama:





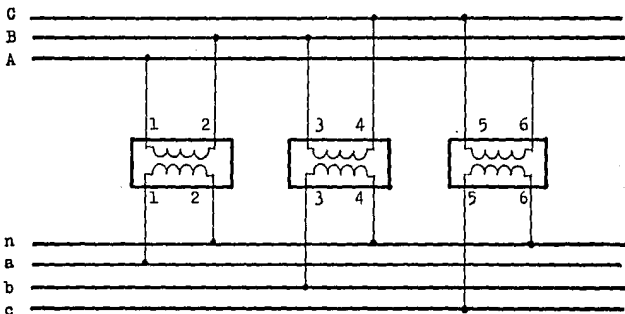
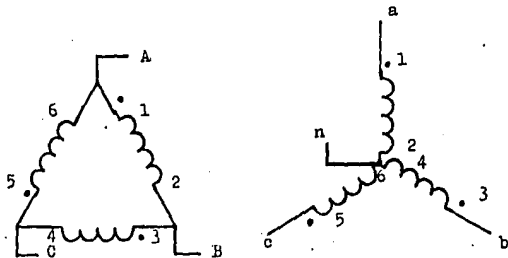
Este tipo de conexión resulta apropiada solo si las cargas trifásicas están balanceadas. Cuando se usa este tipo de conexión, es necesario que el neutro del sistema primario sea accesible, uniéndose éste con el neutro del banco. Si la carga se desbalancea, parte de la corriente de carga circula por el neutro del primario. Si no estuviese conectado, los voltajes entre línea y neutro resultarían muy inestables.

c. Conexión delta-estrella. (Δ - Y)

Es este tipo de conexión, los primarios de los transformadores están conectados en delta y los secundarios en estrella con el neutro conectado a tierra.

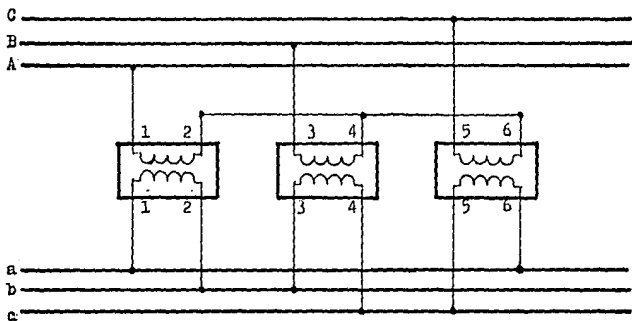
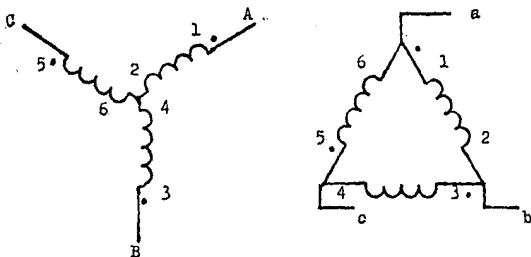
Esta conexión es de las más empleadas. Se utiliza en los sistemas de potencia para elevar voltajes de generación o de transmisión y también en los sistemas de distribución de 4 hilos. En estos últimos, las cargas monofásicas se conectan entre las diferentes fases y el neutro, mientras-

que las cargas de potencia trifásica están conectadas a las tres fases.



d. Conexión estrella-delta. (Y-Δ)

En la conexión estrella-delta, los primarios de los transformadores se encuentran conectados en estrella y los secundarios en delta.



En los sistemas de potencia, la conexión delta-estrella se emplea para elevar los voltajes y la conexión estrella-delta para reducirlos. En ambos casos y por razones de aislamiento, la conexión estrella se conecta al circuito de mayor voltaje.

En sistemas de distribución esta conexión no es común.

5.5.3 Conexiones de los transformadores trifásicos.

Un transformador trifásico es aquél que cuenta con tres-primarios y sus tres secundarios respectivos, todos ellos-devanados en un mismo núcleo y que pueden ser del tipo acorazado o no acorazado.

La comparación de un transformador trifásico con un banco de transformadores monofásicos resulta obligada. Existen, por supuesto, ventajas y desventajas de uno con respecto al otro.

Las ventajas de los transformadores trifásicos con respecto a un grupo de transformadores monofásicos son:

- a. Menor costo.
- b. Mayor rendimiento.
- c. El espacio que ocupan es menor así como su peso.
- d. Simplificación de las conexiones exteriores.
- e. Reducción en las cargas a transportar y en el costo de la instalación.

Las desventajas de los transformadores trifásicos son las siguientes:

- a. Mayor costo de las unidades de reserva.
- b. En caso de avería, la perturbación en el servicio es mayor.
- c. Las reparaciones son más caras.
- d. Menor potencia en las unidades autorrefrigeradas.
- e. Mayor dificultad para sacar tomas de distintos voltajes.

Las ventajas que posee el transformador trifásico triunfan sobre las desventajas que presenta, las cuales son de-

bidas, principalmente, al caso de que sufra alguna avería, lo cual es cada vez más raro debido al perfeccionamiento - en la construcción de los transformadores así como en los dispositivos de protección.

Los devanados de cada transformador componente están conectados a los circuitos externos precisamente como si fueran unidades monofásicas, o sea, los primarios, al igual - que los secundarios, pueden estar conectados entre sí ya - sea en delta o en estrella y formando las combinaciones estudiadas para bancos trifásicos.

Las ventajas relativas a los tipos de conexión son casi las mismas con un transformador trifásico que con tres monofásicos formando un banco trifásico.

5.6 OPERACION EN PARALELO DE TRANSFORMADORES.

Se dice que dos o más transformadores operan en paralelo cuando sus primarios están conectados a una misma fuente y los secundarios a una misma carga.

Las razones para las cuales se hace necesaria la operación de transformadores en paralelo, son:

a. Cuando la capacidad de generación es muy grande y no se fabrican transformadores para esa capacidad, o bien si se quiere repartir la carga.

b. Cuando se aumenta la capacidad instalada en algunas - industrias o sistemas, ya que resulta más conveniente conectar en paralelo otro transformador con el transformador existente para satisfacer la demanda, que instalar uno nuevo que tenga la capacidad total.

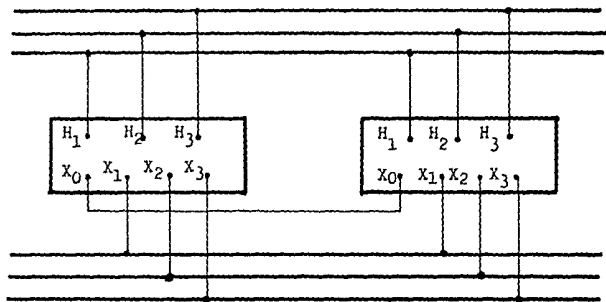
c. Cuando se desea continuidad en el servicio en una ins

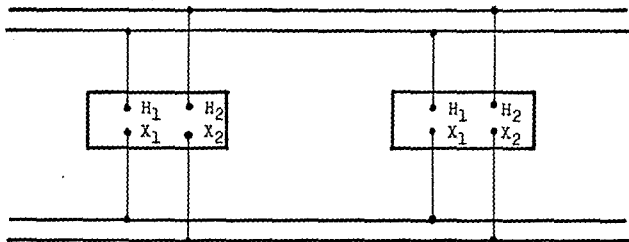
talación donde la carga se divide en dos o más transformadores en paralelo, de tal manera que el servicio no quede interrumpido por falla o reparación de un transformador.

Para que dos o más transformadores operen en paralelo correctamente deben de satisfacer las siguientes condiciones:

- Tener igual relación de transformación, es decir, iguales voltajes tanto en sus devanados primarios como en sus devanados secundarios.
- Igual polaridad.
- Igual relación de resistencia a reactancia (R/X).
- Impedancias inversamente proporcionales a sus capacidades.
- Deben conectarse con la misma secuencia de fase:

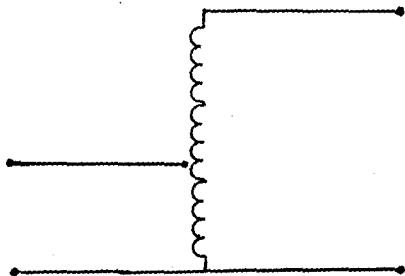
A continuación se muestran los diagramas para la operación de dos transformadores monofásicos conectados en paralelo y para dos transformadores trifásicos (delta-estrella) conectados también en paralelo.



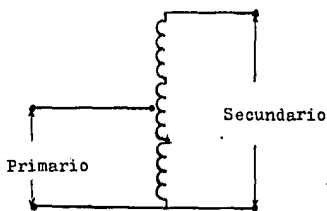


5.7 AUTOTRANSFORMADORES.

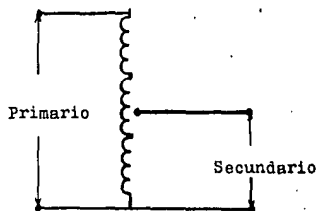
El autotransformador es un dispositivo estático que solo posee un devanado. Su funcionamiento es similar al del transformador ya que ese devanado único sirve como primario y como secundario y transfiere energía de un circuito a otro. Dicha transferencia se efectúa por inducción magnética así como por contacto eléctrico. La representación de un autotransformador es la siguiente:



Dependiendo de qué parte del devanado sea conectado a la fuente de alimentación, un autotransformador puede aumentar o disminuir voltaje.



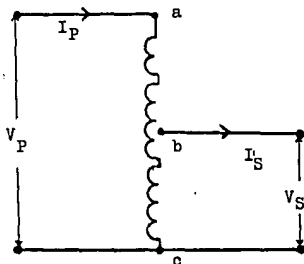
Autotransformador elevador



Autotransformador reductor

Uno de los inconvenientes que presenta el autotransformador es la falta de aislamiento entre los circuitos primario y secundario, ya que comparten el mismo devanado, lo cual solo permite que su operación sea con pequeñas relaciones de transformación, generalmente 2:1.

El estudio del autotransformador se hace a partir del transformador por la similitud presentada. Primeramente tomaremos como referencia un autotransformador reductor como el mostrado en la figura:



Los subíndices P se refieren a valores del primario y -- los subíndices S a valores del secundario. Se localizan en la figura asimismo los puntos a, b y c, los cuales nos sirven de referencia. De acuerdo a dichos puntos, N_{ac} es el número de espiras del devanado entre los puntos a y c mostrados en la figura, así como N_{bc} es el número de espiras entre b y c.

Tenemos, entonces, que para el autotransformador reductor:

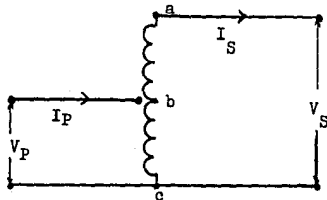
$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_{ac}}{N_{bc}} = a \quad a \text{ mayor que } 1$$

a = Relación de transformación

Si relacionamos lo anterior con las corrientes circulantes obtenemos:

$$\frac{N_{ac}}{N_{bc}} = \frac{I_S}{I_P} \quad I_S \text{ mayor que } I_P$$

Si ahora tomamos como referencia el autotransformador elevador mostrado en la siguiente figura:



Las relaciones serán las siguientes:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_{bc}}{N_{ac}} = a \quad a \text{ mayor que } 1$$

a = Relación de transformación

Relacionando con las corrientes tenemos:

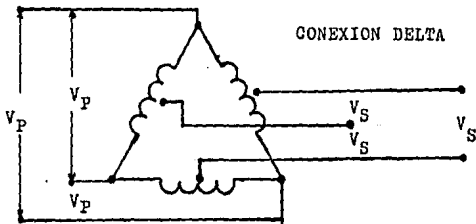
$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{N_{bc}}{N_{ac}} \quad I_P \text{ es mayor que } I_S$$

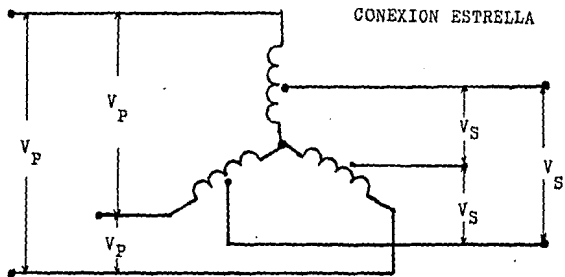
5.7.1 Autotransformadores trifásicos.

Los autotransformadores trifásicos se fabrican para diferentes aplicaciones. Las conexiones más comunes de sus devanados son las siguientes:

- Conexión delta.
- Conexión estrella.
- Conexión delta abierta-delta abierta.

A continuación se muestran los diagramas para las conexiones mencionadas.





CAPITULO 6

GENERADORES Y MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

6.1 GENERALIDADES.

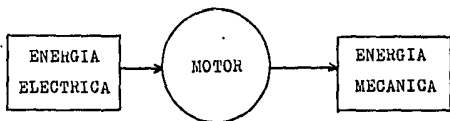
Estudiaremos, a continuación, ciertos dispositivos llamados máquinas eléctricas rotativas, las cuales transforman energía mecánica en eléctrica y viceversa. Estas máquinas pueden ser generadores o motores.

Los generadores son aquellos dispositivos que transforman energía mecánica en energía eléctrica mediante la rotación de un grupo de conductores dentro de un campo magnético.



La energía mecánica que entra al generador y que hace -- que giren los conductores puede provenir de motores de gasolina o diesel, turbinas de vapor, motores eléctricos, -- caídas de agua y hasta de reactores nucleares. A la salida del generador se obtiene la fem inducida en los conductores cuando éstos giran en presencia de un campo magnético.

Por otra parte, un motor eléctrico es un dispositivo que realiza la función inversa, es decir, transforma energía eléctrica en energía mecánica.



Para lograr esta transformación, se utiliza un campo magnético, el cual actúa sobre los conductores haciéndolos girar solamente si por los conductores hacemos circular una corriente eléctrica.

Dependiendo de la fem inducida en los generadores así como del tipo de corriente con la cual se alimenten los motores, dividimos a ambos en:

- a. Generadores y motores de corriente directa.
- b. Generadores y motores de corriente alterna.

En el presente capítulo nos ocuparemos de los primeros, es decir, de aquellos que trabajan con corriente directa, dejando a los restantes para el capítulo siguiente.

6.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR.

El funcionamiento de todos los generadores, tanto los de corriente directa como los de corriente alterna, se basa en la ley de la inducción de Faraday.

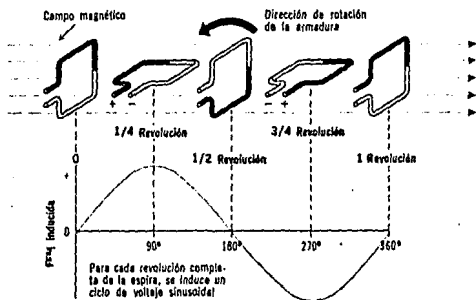
Para poder comprender con claridad el funcionamiento de los generadores, analizaremos a continuación lo que sucede cuando un conductor en forma de espira gira en presencia de un campo magnético, el cual puede ser producido por un imán permanente o por un electroimán. Supondremos, por ahora

ra, que el campo es producido por un imán permanente.

Las líneas de fuerza magnética forman un circuito magnético cerrado. Las líneas salen del polo norte del imán, -- cruzan el entrehierro que existe entre los polos y luego a traviesan el imán en su totalidad.

Si colocamos la espira entre los polos del imán, podemos concluir que mientras la espira no gire, no hay cambios en el flujo magnético ya que el número de líneas que atraviesan la espira se mantiene constante.

Al girar la espira, la fem inducida cambia de valor y polaridad y su gráfica corresponde a la de una onda senoidal perfecta.



Cuando el plano de la espira es perpendicular a las líneas de fuerza, el voltaje inducido es cero. Esto sucede -

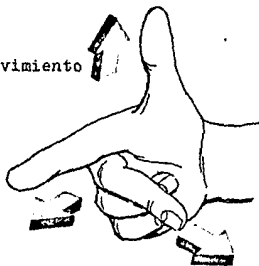
dos veces durante cada rotación completa. Cuando el plano de la espira es paralelo a las líneas, el voltaje inducido es máximo ya que tuvo lugar un cambio máximo en el número de líneas que atraviesan la espira. Esto sucede dos veces, también durante cada ciclo, sin embargo, la fem tiene polaridades distintas, lo cual se explicará más adelante.

El valor de la fem inducida, en este caso, depende de la intensidad del campo y de la rapidez con la cual gire la espira.

La polaridad de la fem inducida en la espira se determina por la regla de la mano derecha. Según esta regla, se extienden el pulgar, el índice y el dedo medio, de manera que queden colocados en ángulos rectos entre sí. Luego, si se señala con el índice en la dirección del campo magnético y el pulgar señala la dirección de movimiento del conductor, el dedo medio señalará la dirección de la corriente que circula por la espira. Como la corriente convencional circula de positivo a negativo, las terminales de la espira tendrán la polaridad que corresponda al sentido en que circule esa corriente.

Dirección del movimiento
del conductor

Dirección de las
líneas de campo



Dirección de la co-
rriente

6.3 GENERADORES DE CORRIENTE DIRECTA.

6.3.1 Características generales.

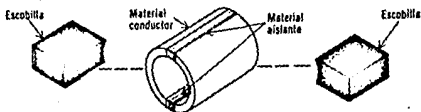
Para obtener una salida de c.d. del generador elemental-estudiado en la sección anterior, la onda senoidal producida es transformada en c.d. por medio de un conmutador y -- transferida a un circuito externo mediante escobillas o -- carbones. El proceso de transformación de c.a. en c.d. recibe el nombre de conmutación.

El conmutador o colector, es pues, el responsable de convertir del voltaje de c.a. generado en la espira rotatoria en voltaje de c.d.

Hay que tener presente que la función de las escobillas es conectar un circuito externo con las terminales del generador. Para esto, cada escobilla debe estar en contacto con cada uno de los extremos de la espira. Las conexiones directas resultan imprácticas debido a que la espira está girando y las conexiones se romperían inmediatamente. En lugar de ello, las escobillas se conectan a los extremos de la espira por medio del conmutador. Dicha conexión es -- en realidad un contacto por medio de presión entre el conmutador, unido a la espira, y las escobillas.

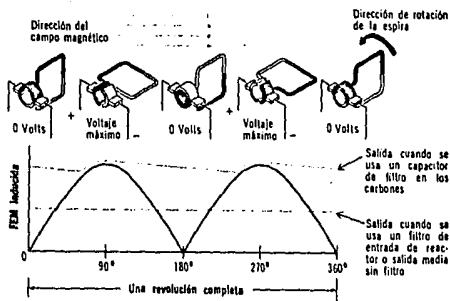
Para un generador elemental formado por una sola espira, el conmutador está formado por dos piezas de material conductor de forma semicilíndrica, las cuales están separadas por material aislante. Cada mitad del conmutador está soldada a un extremo de la espira y eso hace que gire junto -- con ella. Cada escobilla hace contacto con la terminal de la espira conectada a la mitad del conmutador sobre la ---

cual está la escobilla.



Al girar la espira y el conmutador, las escobillas fijas primero hacen contacto cada una con una mitad del conmutador y luego con la otra, lo cual implica que cada escobilla hace primero contacto con un extremo de la espira y luego con el otro. Las escobillas están colocadas en lados opuestos del conmutador de manera que pasan de una mitad del conmutador a la otra en el momento en que la espira llega al punto de su giro donde el voltaje inducido invierte su polaridad. Así, cada vez que las terminales de la espira invierten su polaridad, las escobillas pasan de una mitad o segmento del conmutador a la otra. Es por esta razón que una escobilla siempre es positiva con respecto a la otra. Por lo tanto, la amplitud del voltaje que hay entre escobillas fluctúa entre cero y algún valor máximo, pero siempre conservando la misma polaridad. A la salida del generador se obtiene un voltaje fluctuante de corriente directa.

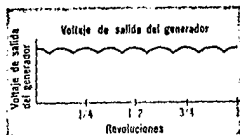
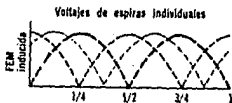
Es importante hacer notar que existe un instante en el -



cual ambos segmentos del conmutador quedan en contacto. El voltaje inducido en ese instante es cero, ya que si no lo fuera, se establecerían condiciones de corto circuito y la espira sufriría daños. La posición para la cual las escobillas están en contacto con ambos segmentos del conmutador se llama plano neutro.

Si ahora, en lugar de tener una sola espira colocamos dos en ángulo recto y utilizamos un conmutador de 4 segmentos, obtendremos una señal de c.d. cuya fluctuación es menor que si se tratara de una sola espira.

Y si a continuación aumentamos dos espiras a las dos anteriores y las colocamos simétricamente, de manera que los ángulos entre ellas sean iguales y utilizamos un conmutador de 8 segmentos, obtendremos a la salida una señal que se aproxima más a una línea recta, tal y como se muestra en la figura que aparece a continuación.



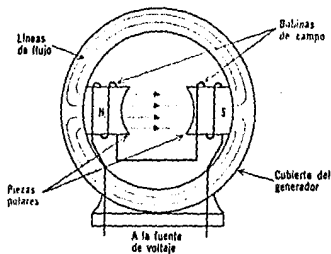
Por cada espira que se aumente, deben añadirse al conmutador dos segmentos. La relación de segmentos del conmutador y de espiras del generador siempre es de dos a uno.

Los generadores reales poseen un gran número de espiras, lo cual hace que el voltaje de salida sea casi constante, existiendo, sin embargo, pequeñas fluctuaciones. Al conjunto de espiras y conmutador se le dá el nombre de armadura del generador y por ser la parte que está en movimiento, a veces se le llama también rotor.

Para aumentar el valor del voltaje de salida, a cada espira del generador se le añaden muchas vueltas de alambre en lugar de una sola. A estas espiras múltiples se les dá el nombre de bobina de armadura. Cada una de ellas tiene dos extremos que están conectados a dos segmentos del conmutador. Con esto, el voltaje de salida alcanza un nivel útil.

Ahora bien, como el valor del voltaje inducido está directamente relacionado con la intensidad del campo magnético, los imanes permanentes no son utilizados en los generadores prácticos, ya que los campos magnéticos producidos con los electroimanes son mucho más intensos y fácilmente regulables.

Los electroimanes que se usan para producir el campo magnético en un generador, son construidos devanando bobinas sobre núcleos de material magnético. Los devanados reciben el nombre de bobinas de campo y los núcleos se conocen como piezas polares. En la siguiente figura se ilustra lo anterior para un generador de dos polos.



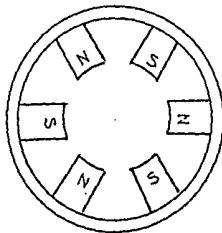
Las dos piezas polares están separadas por un espacio -- llamado entrehierro y que es donde se instala la armadura.

Puede observarse que las líneas de fuerza forman un circuito magnético cerrado. La cubierta del generador, al igual que las piezas polares, está construída con material de buenas propiedades magnéticas que ayude a reforzar la intensidad del campo magnético.

Las dos bobinas de campo están devanadas en serie, de manera que el campo magnético que producen siempre tiene la misma dirección. A las bobinas de campo, en conjunto, se le dá el nombre de devanado de campo.

Cabe hacer la aclaración que entre el devanado de campo y las piezas polares, existe un total aislamiento eléctrico, utilizándose alambre revestido de un barniz aislante. Las bobinas y las piezas polares solo forman el campo magnético en presencia del cual girará la armadura.

Por otra parte, si aumentamos el número de polos en un generador, podemos reducir el tamaño y el peso del mismo, sin variar el voltaje de salida. El número total de polos siempre debe ser un número par, ya que por cada polo norte debe existir un polo sur. A continuación se muestran las líneas de fuerza y el circuito magnético para un generador de seis polos.



6.3.2 Tipos de generadores.

Para que un generador de c.d. funcione correctamente, el campo magnético producido por el devanado de campo siempre debe tener la misma dirección, de manera que dicho devanado debe alimentarse con c.d. A la corriente que circula -- por el devanado se le llama corriente de excitación y puede provenir de una fuente externa, ajena al generador, o bien, puede ser tomada de la salida misma del generador. - En el primer caso se dice que el generador es de excitación separada, y en el segundo se trata de un generador autoexcitado. Una clasificación más amplia sería la siguiente:

GENERADORES DE C.D.

A. De excitación separada.

B. Autoexcitados: a. Serie

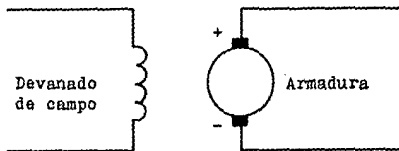
b. Shunt

c. Compound

A. Generadores de excitación separada.

En este tipo de generadores, el devanado de campo es ali

mentado por una fuente externa que bien puede ser una batería u otro generador. Se simboliza de la siguiente manera:



Los generadores de excitación separada son utilizados en aquellos casos en que los autoexcitados no cumplan con -- los requerimientos necesarios de operación. Esto puede suceder cuando el voltaje de salida del generador debe va--- riar en un amplio margen durante su funcionamiento.

B. Generadores autoexcitados.

En este tipo de generadores, el devanado de campo se conecta directamente con la salida del generador. Así pues,-- la corriente que circula por el devanado es parte de la -- que está produciendo el generador.

Al momento del arranque de un generador autoexcitado, la salida del generador es cero y no circula corriente por el devanado de campo, mas sin embargo, existe un pequeño campo magnético producido por el magnetismo remanente o residual de las piezas polares. Esto induce un pequeño voltaje en las bobinas de la armadura al empezar a girar éstas, lo

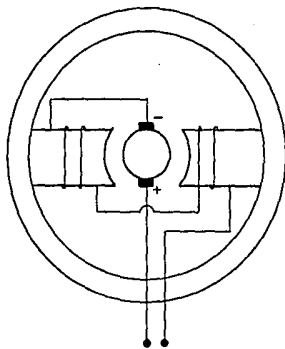
cual dá al generador una pequeña salida. Debido a esa pequeña salida circula corriente por el devanado de campo -- con lo cual aumenta la intensidad del campo magnético y -- con ello la salida del generador. Esta actividad continúa hasta que el generador alcanza su salida normal.

La conexión del devanado de campo a la salida del generador puede ser hecha de tres maneras diferentes. La forma en que se realiza esa conexión determina muchas de las características del generador.

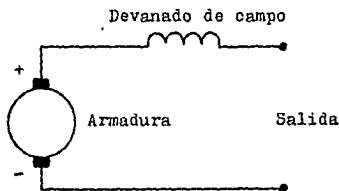
a. Generadores en serie.

Un generador en serie es un generador autoexcitado en el cual el devanado de campo se conecta en serie con la salida del generador.

Diagrama de un generador serie



Salida del generador



Símbolo

Podemos observar que la corriente de excitación que circulará por el devanado de campo es la misma con que el generador alimenta la carga. Esto hace que el devanado de campo contenga pocas espiras de alambre muy grueso, ya que debe soportar corrientes elevadas cuando éstas sean demandadas por la carga.

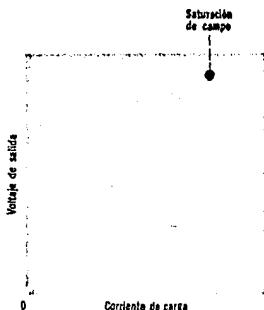
Si hacemos un análisis de las características de la carga, veremos que si esta tiene una resistencia muy grande, la corriente que circulará por ella será pequeña. Como también es la misma corriente que circula por el devanado de campo, el campo magnético será débil, de modo que disminuye el voltaje de salida del generador.

En forma análoga, si la carga posee una baja resistencia tomará una corriente elevada, la cual producirá un campo magnético muy intenso y el voltaje de salida será elevado.

Podemos, entonces, concluir que en un generador en serie los cambios de la corriente de carga afectan sobremanera al voltaje de salida del generador. Se dice que un genera-

dor en serie tiene una mala regulación de voltaje y por lo tanto, este tipo de generadores no son convenientes para cargas fluctuantes.

La siguiente gráfica nos muestra la manera cómo el voltaje de un generador en serie varía al aumentar la corriente de carga. Podemos notar que a un aumento en la corriente de carga corresponde un aumento en el voltaje de salida -- hasta un cierto punto, después del cual el voltaje ya no aumenta al aumentar la corriente.

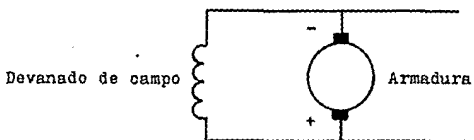


La causa de que ya no se produzca un aumento en el voltaje de salida es debido a la saturación magnética del material con el cual se fabrican las piezas polares ya que se encuentra totalmente magnetizado. El campo magnético ya no puede aumentar aún cuando aumente la corriente en el devanado. Entonces, el voltaje de salida empieza a disminuir -- debido a la caída de voltaje que tiene lugar en el devanado de campo y en las bobinas de la armadura, caída de vol-

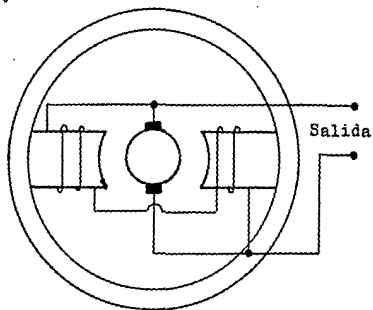
taje que no es equilibrada con un aumento en el voltaje de salida, el cual permanece constante.

b. Generadores shunt o en derivación.

Este tipo de generadores autoexcitados tienen el devanado de campo conectado en paralelo con la salida del generador.



Símbolo y diagrama de un generador shunt



La cantidad de corriente que circule por el devanado de campo depende de la resistencia de éste y del voltaje de -

salida del generador. El valor de esta corriente de excitación varía por lo regular entre 0.5 y 5% de la corriente total producida por el generador.

Debido a que las corrientes de excitación en los generadores shunt son muy pequeñas, comúnmente se utiliza alambre delgado y con muchas vueltas para el devanado de campo.

El voltaje de salida en estos generadores, funcionando a velocidad constante, en condiciones variables de carga, -- tiene mucha mayor estabilidad que el voltaje de salida del generador en serie. Existe, sin embargo, cierto cambio en el voltaje de salida, el cual ocurre porque al aumentar la corriente de carga también aumenta la caída de voltaje --- (IR) en el bobinado de la armadura, lo cual hace que el -- voltaje de salida disminuya. Esto provoca que la corriente que circula por el devanado de campo también disminuya, reduciéndose la intensidad del campo magnético y disminuyendo aún más el voltaje de salida.

Si la corriente que demanda la carga es muy grande, la - caída de voltaje en la armadura también sería muy grande y el voltaje de salida se reduce en gran parte. Esto hace -- que este tipo de generador se autoprotega, ya que si la --

Voltaje de salida

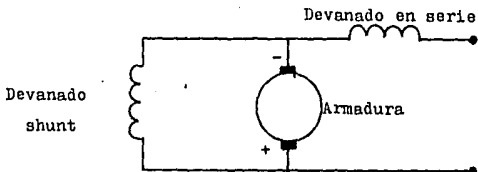
Piena carga

Corriente de carga

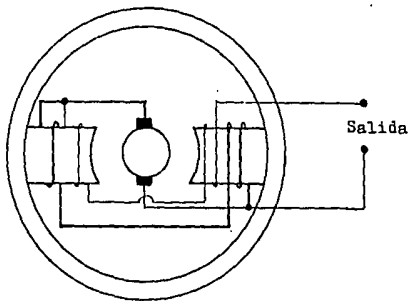
carga se conectara repentinamente en corto circuito, el voltaje de salida descendería hasta cero, lo cual haría que no circulara corriente de excitación a través del devanado de campo, de manera que el generador no operaría.

c. Generadores compound o combinados.

Un generador compound o combinado tiene un devanado de campo conectado en paralelo con la salida del generador; - en la misma forma que un generador shunt; también tiene otro devanado de campo conectado en serie con la salida del generador, igual que un generador en serie.



Símbolo y diagrama de un generador compound



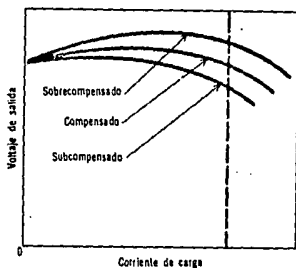
El diseño de los dos devanados de un generador compound se hace de tal manera que sus campos magnético se refuer--cen. De esta forma, cuando la corriente de carga aumenta,-- la corriente que circula por el devanado shunt disminuye -- reduciendo la intensidad del campo magnético. Pero el mis--mo aumento en la corriente de carga ocurre en el devanado--de campo en serie, aumentando la intensidad de su campo -- magnético. Decimos, entonces, que el generador compound -- tiene una conexión aditiva o acumulativa. En caso contra--rio de que el devanado serie esté conectado de manera que-- los dos campos magnéticos se opongan, se tiene una cone---xión diferencial o sustractiva. La conexión diferencial es usada solamente en casos muy especiales.

Para un determinado número de espiras en el devanado en--serie, el aumento de la intensidad de su campo magnético -- compensará exactamente la disminución del campo magnético--del devanado shunt. Por lo tanto, la intensidad del campo--magnético combinado permanece casi invariable, lo cual ha--ce que el voltaje de salida permanezca constante. Un gene--rador con estas características se dice que está compensa--do.

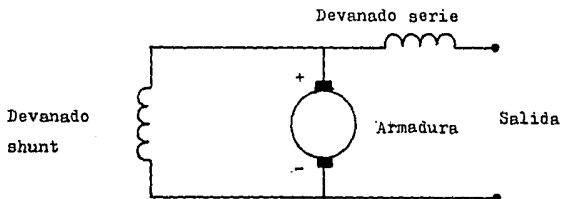
En los generadores compound compensados, el voltaje de --salida tiene el mismo valor sin carga que a plena carga, y el cambio ocurre entre el vacío y la plena carga es menor--que un 5% aproximadamente.

Para ciertas aplicaciones, el devanado en serie se hace--de tal manera que sobrecompense al devanado shunt. Enton--ces el voltaje de salida del generador aumenta gradualmen--te al aumentar la corriente de carga durante el funciona--miento normal. Se dice que el generador está sobrecompensa--do.

De manera similar, el devanado en serie puede diseñarse de manera que subcompense al devanado shunt, con lo cual, el voltaje de salida disminuye gradualmente al aumentar la corriente de carga. A este tipo de generador se le llama subcompensado.



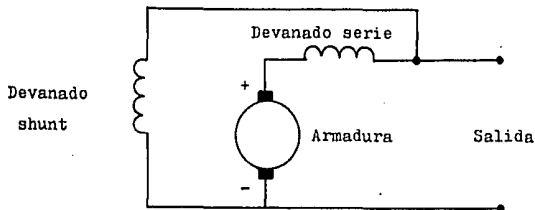
El generador compound con conexión corta tiene el devanado shunt conectado directamente a las escobillas del generador, tal y como se muestra en la figura.



Generador compound con conexión corta

Los generadores se conectan generalmente de esta manera porque tiende a mantener constante la corriente que circula por el devanado shunt para cargas variables.

Un generador compound con conexión larga tiene el devanado shunt conectado entre las terminales del generador.



Generador compound con conexión larga

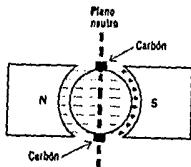
Si un generador es cortocircuitado, el campo magnético producido por el devanado en serie aumentará gradualmente mientras que el campo producido por el devanado shunt perderá toda su intensidad. En el instante o pequeño intervalo durante el cual disminuye el campo shunt, circulará una corriente muy elevada; pero si el campo producido por el devanado shunt constituye una parte importante del campo total, la corriente disminuirá considerablemente y no causará daños en la armadura si ésta ha sido capaz de soportar la elevada corriente inicial de corto circuito. Por el contrario, si el campo magnético producido por el devanado en serie predomina sobre el producido por el devanado shunt, puede llegar incluso a quemar las bobinas de la ar-

madura.

6.3.3 Reacción de armadura.

Cuando analizamos el proceso de la conmutación, observamos que existía una posición para la cual los extremos de la espira se conectaban en corto circuito por medio de las escobillas y el conmutador. Era necesario que en ese instante el voltaje inducido fuera cero para evitar que la espira se quemara.

Los puntos de su rotación en los cuales una espira tiene un voltaje inducido igual a cero, se encuentran a lo largo de lo que se ha llamado plano neutro. Para un generador bipolar, el plano neutro es perpendicular a las líneas de fuerza y se encuentra a la mitad de las piezas polares tal y como se muestra en la figura.

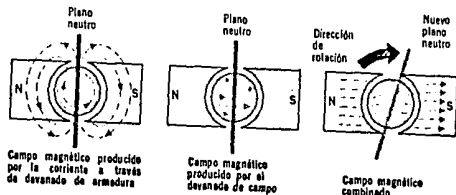


En un generador real, el plano neutro es el mismo para todas las bobinas que componen la armadura y cada vez que és ta completa una rotación, cada bobina pasa dos veces a través de él. Por lo tanto, teóricamente tendrá lugar una con

mutación perfecta si las escobillas del generador se encuentran localizadas en el plano neutro.

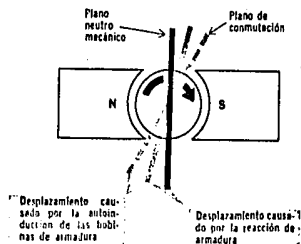
Durante el funcionamiento, el plano neutro tiende a desplazarse a una nueva posición. Debido a esto, el plano neutro teórico recibe el nombre de plano neutro mecánico o geométrico.

Mientras funcione el generador, la misma corriente que circula a través de la carga, lo hace también por el devanado de la armadura. Esto hace que se forme un campo magnético alrededor de los conductores del devanado de la armadura, existiendo dos campos magnéticos en el espacio que se encuentra entre las piezas polares del generador. Dichos campos se combinan para producir un campo resultante. Este es el campo magnético en presencia del cual giran en realidad las bobinas de la armadura, produciéndose un desplazamiento del plano neutro en dirección de la rotación de la armadura. A este fenómeno se le dá el nombre de reacción de armadura o reacción de inducido, ya que es en las bobinas de la armadura en donde se induce el voltaje del generador.



El desplazamiento del plano neutro depende de la intensidad del campo magnético que la corriente de carga origina alrededor del devanado de armadura. A mayor corriente de carga, mayor será el desplazamiento del plano neutro. La dirección del desplazamiento siempre es la misma que la dirección de la rotación.

Aparte de la reacción de armadura existe otro factor que desplaza aún más al plano neutro: el voltaje autoinducido en las bobinas de la armadura. A la nueva posición del plano neutro suele llamársele plano neutro eléctrico o de conmutación.



Al igual que en el caso de reacción de armadura, el desplazamiento del plano neutro originado por autoinducción de las bobinas de armadura, es proporcional a la corriente de carga.

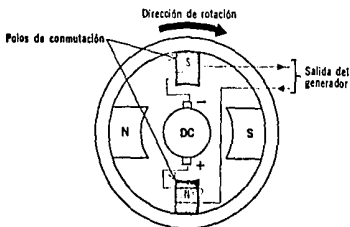
Cuando la carga es constante, las escobillas se pueden colocar en la nueva localización del plano neutro para obtener una conmutación eficiente. Si la carga del generador es variable, entonces resultaría impráctico estar cambiando de posición las escobillas cada vez que variara la car-

ga, por lo tanto, en esos casos se utilizan otros medios - para obtener una correcta conmutación.

6.3.4 Interpolos y devanados compensadores.

Bajo condiciones de carga variable, los continuos desplazamientos del plano neutro requerirían un cambio constante en la posición de las escobillas. Una forma de mantener el plano neutro efectivo cerca del plano neutro mecánico, bajo condiciones de carga variable, es mediante polos intermedios o interpolos.

Los interpolos son pequeños devanados localizados en el plano neutro mecánico y enrollados sobre piezas polares - que forman parte de la cubierta del generador. Los devanados de estos interpolos están conectados en serie con el devanado de armadura, de manera que la corriente de carga produce un campo magnético en cada interpolo. La siguiente figura ilustra en detalle lo anterior.



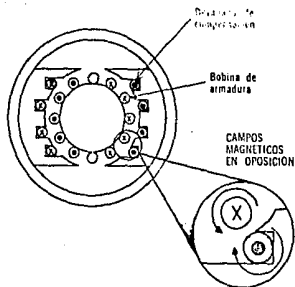
Las direcciones de los campos magnéticos producidos por los interpolos anulan el campo producido por las bobinas de la armadura en la proximidad de ellos. Por lo tanto, no hay autoinducción en las bobinas de armadura cuando llegan al plano neutro.

Para cumplir su función, los interpolos deben tener la polaridad correcta, que es la opuesta a la de la fem de autoinducción. Aplicando la regla de la mano derecha, obtenemos que la polaridad del interpolo debe ser igual a la del polo principal que le sigue, en dirección de la rotación.

Otra de las características de los interpolos es que son autorregulables. Cuando existe un aumento en la corriente de carga, el plano neutro tiende a desplazarse hacia la dirección de la rotación; pero, al mismo tiempo, el campo de los interpolos aumenta en intensidad oponiéndose así al desplazamiento.

Los interpolos, sin embargo, no pueden eliminar la reacción de armadura, debido a que se localizan sólo en el plano neutro, mientras que la reacción de armadura tiene lugar en toda ella; pero si se colocaran interpolos en toda la armadura, la reacción de ésta se eliminaría. Esto es, precisamente, lo que se hace cuando se emplean devanados compensadores, los cuales son pequeños devanados colocados en las piezas polares principales, los cuales se conectan en serie entre sí y con el devanado de la armadura.

La corriente que circula por los devanados compensadores lo hace en dirección contraria a la que circula por las bobinas de armadura que están frente a ellos. Esto significa que el campo magnético producido por los devanados compensadores anula al de las bobinas de armadura. En la siguiente figura se muestra lo anterior.

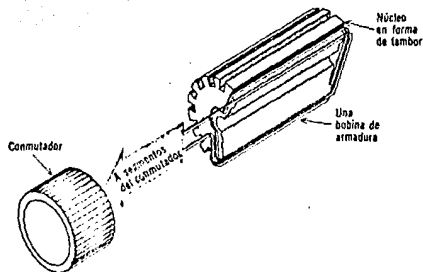


Los devanados compensadores así como los interpolos eliminan la mayor parte del desplazamiento del plano neutro que de otra forma originaría una carga variable. Algunos generadores de carga variable tienen devanados compensadores y otros están provistos de interpolos. En los generadores de gran tamaño o en aquellos que tienen variaciones de carga muy amplias, son usados al mismo tiempo los interpolos y los devanados compensadores.

6.3.5 Devanado de armadura.

El devanado de armadura lo constituyen el conjunto de bobinas devanadas sobre un núcleo de hierro en forma de tambor y que posee ranuras longitudinales en las cuales se devanan las bobinas. Los lados de las bobinas se hallan instalados en diferentes ranuras.

De acuerdo a la forma en que se conecten las terminales de las bobinas a los segmentos del conmutador, dividimos -



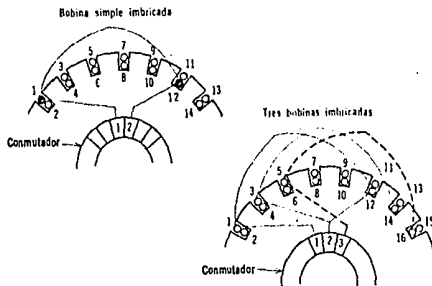
los tipos de devanados en imbricados y ondulados. Una tercera disposición es el devanado de ancas de rana, el cual resulta de la combinación de los dos anteriores.

Es una condición indispensable en cualquier tipo de devanado de armadura, que éste se realice de manera que siempre que un lado de la bobina está a la mitad de un polo norte, el otro lado de la misma bobina esté a la mitad de un polo sur.

a. Devanados imbricados.

En este tipo de devanados, los dos extremos de cualquier bobina están conectados a segmentos adyacentes en el conmutador y cada uno de ellos conecta los extremos de dos bobinas adyacentes. El efecto que esto produce es colocar todas esas bobinas bajo pares similares de polo en paralelo. Si el generador es bipolar, o sea, hay un polo norte y un polo sur, entonces existen dos trayectorias paralelas en el devanado de la armadura. Si hay dos polos norte y dos polos sur, esto significa que existen cuatro trayectorias-

paralelas. Esta es la característica básica de los devanados imbricados: el número de trayectorias paralelas a través del devanado de armadura es el número de polos existentes en el generador.



Los voltajes que se inducen en cada trayectoria son iguales y de la misma polaridad, lo cual hace que la corriente que circula por cada trayectoria sea del mismo valor.

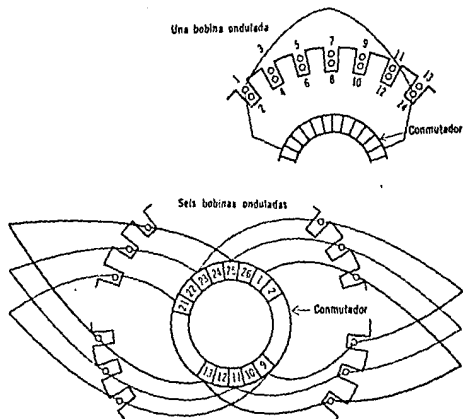
Hay un juego de escobillas para cada par de trayectorias es decir, hay una escobilla por cada polo. Las escobillas están conectadas entre sí en paralelo (negativo con negativo y positivo con positivo), conectándose a su vez con lo que es ya la salida del generador.

El voltaje existente a la salida del generador, es el mismo que se induce en cada trayectoria del devanado, sin embargo, la capacidad de corriente; esto es, la cantidad de corriente que puede hacer circular por la carga, es muy grande ya que se reparte equitativamente por cada trayecto

ria sin dañar el devanado.

b. Devanados ondulados.

En un devanado ondulado, el extremo de cada bobina se conecta a un segmento que se encuentra a una distancia de -- dos veces la que hay entre los polos del segmento al cual se conectó el otro extremo de la bobina; también en este caso, cada segmento del conmutador se conecta a los extremos de dos bobinas diferentes, las cuales se encuentran en lados opuestos de la armadura. Esto se hace con el fin de colocar en serie todas aquellas bobinas bajo pares de polos similares. Por lo tanto, solo existen dos trayectorias paralelas a través del devanado de armadura, sin importar el número de polos que contenga el generador.



Los voltajes de cada una de las bobinas se suman en cada trayectoria y al existir solo dos trayectorias, encontra--

mos más bobinas por trayectoria que en un devanado imbricado comparable. Por lo tanto, el voltaje total inducido en cada trayectoria es relativamente alto. Sin embargo, la capacidad de corriente de un devanado ondulado es inferior a la de un devanado imbricado debido a que solo hay dos trayectorias para la corriente. Vemos pues, que mientras en un devanado imbricado se sacrifica el voltaje de salida -- por la capacidad de corriente, en un devanado ondulado se sacrifica la capacidad de corriente por un mayor voltaje.

6.3.6 Características estructurales de los generadores.

Hemos estudiado hasta el momento las principales características de operación de los generadores de c.d. así como sus partes principales, mas sin embargo, no basta al técnico electricista el saber cómo funciona un generador de --- c.d., ya que también es necesario poder identificar sus -- partes y estar familiarizado con su estructura.

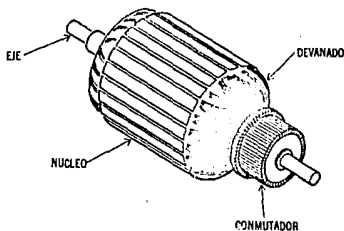
Aunque existen en la actualidad numerosos tipos de generadores de c.d., las similitudes físicas entre ellos son grandes. De esta manera, si sabemos cómo está constituido un generador típico, la idea que se tendrá acerca de los demás será muy aproximada. Estudiaremos, a continuación, -- las características estructurales de un generador típico -- de c.d.

1. Armadura.

La armadura, comúnmente llamada inducido o rotor, está -- compuesta por todas las partes rotatorias o móviles del generador. Estas son:

- a. Eje o flecha.
- b. Núcleo de armadura.
- c. Devanado de armadura.
- d. Conmutador o colector.

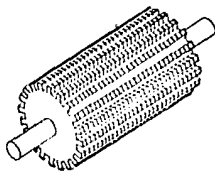
El núcleo y el conmutador están montados sobre el eje. - El devanado se encuentra distribuido en las ranuras del núcleo y los extremos de cada una de las bobinas que constituyen el devanado están conectadas con los segmentos del conmutador.



Los núcleos de las armaduras tienen forma cilíndrica o de tambor. Se construyen en forma similar a los núcleos de los transformadores, es decir, apilando chapas o laminaciones hasta darle la forma requerida. Cada lámina tiene muescas en la orilla, de tal manera que al combinarse para formar el núcleo, las muescas quedan alineadas formando las ranuras necesarias para devanar la armadura.



Una laminación del núcleo



Núcleo laminado montado sobre el eje de armadura

La causa por la cual se lamina el núcleo es para reducir las pérdidas por corrientes parásitas, ya que el material de que se fabrica el núcleo es conductor y por lo tanto, - hay corrientes inducidas que producen pérdidas por calentamiento.

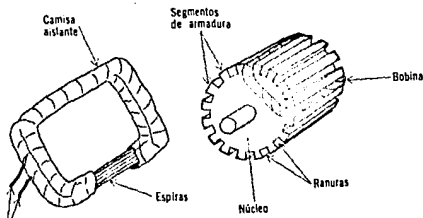
Pero también existen en el núcleo pérdidas por histéresis, y son debido a que el núcleo gira y al construirse de material magnético, los dipolos magnéticos que lo componen se orientan e invierten su dirección al estar girando. Para reducir las pérdidas por histéresis, los núcleos se fabrican de acero dulce al silicio.

El eje del generador es una varilla de acero duro y cuya superficie de contacto se encuentra pulida. La forma en -- que se monta el núcleo y el conmutador sobre el eje varía de un generador a otro.

Para el devanado de armadura, las bobinas se confeccionan arrollando a mano y una tras otra las espiras que las componen entre las correspondientes ranuras. Al devanado - realizado de esta manera se le llama de ejecución manual y

y es propio de pequeños generadores.

En armaduras grandes se utilizan bobinas previamente devanadas sobre moldes, las cuales se alojan después en las ranuras del núcleo formando una unidad compacta. Todas las espiras de una bobina se encientan en un ferrocemento común, dejando libre solo dos puntas, los extremos, para su conexión al conmutador.



Para mantener fijas las bobinas se colocan cuñas de material aislante en las ranuras del núcleo. En algunos generadores son usadas bandas de acero alrededor de la armadura para evitar que las bobinas sean expulsadas debido a la fuerza centrífuga.

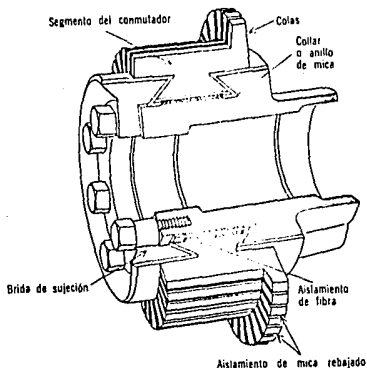
El conmutador, llamado también colector, está compuesto por segmentos individuales de cobre. Estos segmentos son conocidos también como delgas, y se ensamblan dándole una forma cilíndrica al conmutador y fijados por medio de una

de sujeción, con lo cual los segmentos quedan rigidamente-fijos.

Es muy importante hacer notar que los segmentos se encuentran aislados entre sí mediante hojas de mica y por medio de anillos del mismo material se aíslan a la brida de sujeción.

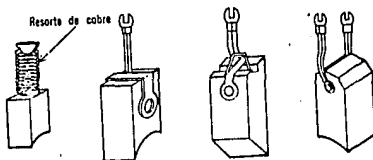
Existen en el extremo de los segmentos del conmutador unas ranuras, las cuales permiten conectar los extremos de las bobinas del devanado de armadura.

Por último, la superficie del conmutador se corta y pule ya que se necesita tener un acabado muy terso para reducir al máximo la fricción con las escobillas. Los separadores de mica deben estar más rebajados para que no interfieran en el funcionamiento del conmutador.

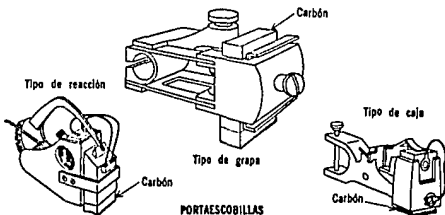


2. Escobillas.

Las escobillas, muy comúnmente llamadas carbones, se fabrican normalmente de grafito y son pequeños bloques que pueden ir montados en unos soportes llamados portaescobillas, todo lo cual es mostrado en las siguientes ilustraciones.



TIPOS DE CARBONES



Las escobillas van provistas de un resorte como se pudo observar en la figura. La función del resorte es mantener cierta presión sobre la escobilla para que el contacto sea óptimo e ir empujando la escobilla hacia el conmutador con forme ésta se desgaste.

El grafito de las escobillas además de ser material conductor es también lubricante. El desgaste que sufren las escobillas es gradual y es necesario su reemplazo después de cierto tiempo. Esta es una característica de las escobillas, ya que si no sucediera de esa manera, resultaría más costoso reemplazar la armadura que las escobillas en sí.

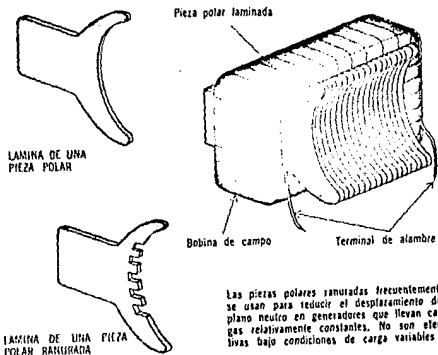
3. Devanado de campo.

Para la construcción del devanado de campo, las piezas polares sobre las cuales se montan las bobinas, se construyen generalmente con hojas de acero laminadas, lo que disminuye las pérdidas debidas a corrientes parásitas. Las piezas polares tienen una forma tal que se ajustan al tamaño de la curvatura de la armadura con el fin de mantener lo más pequeño posible el entrehierro y evitar pérdidas en cuanto a la cantidad de líneas de fuerza magnética que atravesarán las bobinas de la armadura.

Por lo general, las bobinas de campo se devanan en moldes y después son montadas en las piezas polares. Para los devanados shunt las bobinas se construyen de numerosas vueltas de alambre relativamente delgado. En los devanados serie, la bobina consta de pocas vueltas de alambre grueso.

A continuación se muestran láminas con las cuales se construyen piezas polares, así como una pieza polar termi-

nada con una bobina de campo ensamblada a ella.



Las piezas polares ramuradas frecuentemente se usan para reducir el desplazamiento del plano neutro en generadores que llevan cargas relativamente constantes. No son electivas bajo condiciones de carga variables.

4. Cubierta.

Se le llama cubierta de un generador al soporte mecánico de las partes que lo constituyen, proporcionando a la vez protección contra polvo y humedad.

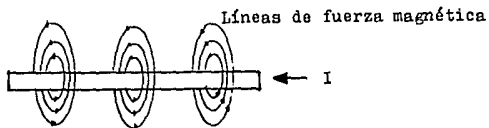
La mayoría de las cubiertas de los generadores constan de tres partes: una coraza y dos cabezales.

La coraza, llamada también carcasa, sostiene a las bobinas de campo así como a los polos cuando estos existen. Debido al material con el cual se construyen, forman parte del circuito magnético del generador. Se fabrican con acero o hierro de buenas propiedades magnéticas. El espesor depende del grado de soporte mecánico que deba proporcionar.

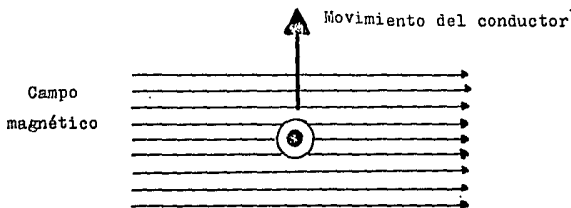
Los cabezales están montados en los extremos de la coraza y se encuentran sujetos a ellos por medio de remaches o tornillos. Los cojinetes de la armadura están montados en el centro de los cabezales.

6.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR.

Quando hacemos circular una corriente eléctrica por un a lambre conductor, existe un campo magnético alrededor de - él producido por la corriente circulante. Si tomamos como-referencia un alambre conductor recto, el campo y las lí--neas de fuerza magnética serán:

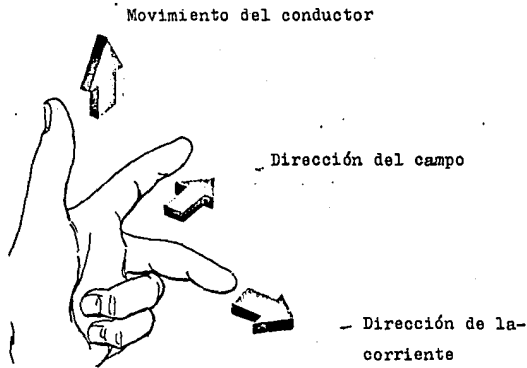


Si ese mismo alambre conductor es puesto en presencia de un campo magnético cualesquiera, experimentará una fuerza--debido a la interacción de dos campos magnéticos: el produ--cido por la corriente en el alambre y el campo en presen--cia del cual se encuentra el conductor.

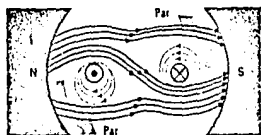
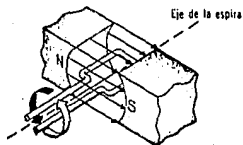


La corriente circula por el conductor
saliendo de la página

La dirección de la fuerza, es decir, la dirección en la cual se mueve el conductor, se determina por la regla de la mano izquierda para motores. Cuando el índice señala en dirección de las líneas de fuerza y el dedo medio en la dirección de la corriente que circula por el conductor, el pulgar señalará hacia dónde se moverá el conductor, siempre y cuando los dedos formen ángulos rectos entre sí, tal y como se muestra en la siguiente ilustración.

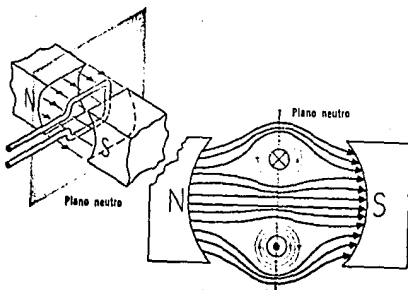


Si ahora doblamos el conductor recto en forma de espira y hacemos circular una corriente por ella en presencia de un campo magnético fijo, el campo magnético asociado con la espira interactúa con el campo fijo y las fuerzas combinadas sobre los lados de la espira constituyen una fuerza de torsión o par debido a que la espira está dispuesta para girar sobre su eje.



La fuerza giratoria o par, depende de factores tales como la intensidad del campo y el valor de la corriente que circula por la espira, entre otros.

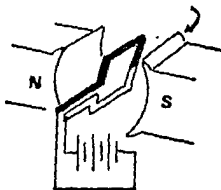
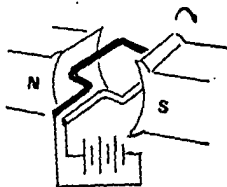
El par tiende a alinear a la espira en forma perpendicular a las líneas de fuerza, llamándose a esa posición el plano neutro.



Para obtener una rotación completa, en el instante en -- que la espira se encuentra en el plano neutro, es necesaa-- rio invertir el sentido de la corriente que circula por la espira para poder hacer que gire una revolución completa.- Para que tenga un movimiento giratorio continuo, es necesaa-- rio invertir la dirección de la corriente cada vez que la-- espira atraviesa por el plano neutro, esto es, dos veces -- durante una rotación.

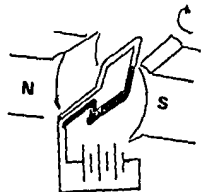
A continuación se muestran los pasos seguidos para que u na espira conectada a una batería dé una rotación completa en sentido de las manecillas del reloj.

POSICION 1



POSICION 2

POSICION 3



6.5 MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA.

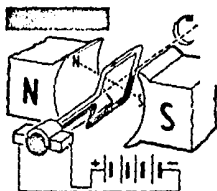
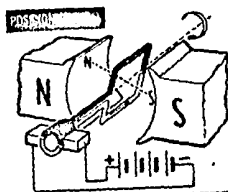
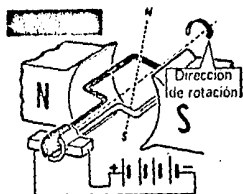
Los motores y los generadores de c.d. tienen esencialmente las mismas partes y su apariencia externa es similar. La diferencia estriba en la forma como se usan. En un generador, la potencia mecánica suministrada por algún agente externo hace girar la armadura a través de un campo magnético produciéndose potencia eléctrica a la salida. En un motor, la potencia eléctrica de entrada hace que la armadura gire y por medio de bandas o engranes, esta potencia es -- transmitida a una carga para moverla. La carga de un generador es eléctrica y la de un motor es mecánica.

6.5.1 Características generales.

Hemos visto en la sección anterior la forma en que es posible hacer girar una espira en presencia de un campo magnético cuando por la espira circula una corriente eléctrica. Se vió que era necesario invertir el sentido de la corriente en el instante en que la espira se encontraba en -

el plano neutro.

Pues bien, para entender el funcionamiento de un motor de c.d., tomemos una configuración llamada motor elemental que consta de un campo magnético producido por un imán permanente, una espira conectada a un conmutador y una batería, la cual hace circular una corriente por la espira a través de un par de escobillas. Tomaremos como referencias las tres posiciones mostradas enseguida.



En la posición 1, la corriente circula por la espira como se muestra en la figura, lo cual produce un par que hace que la espira gire en sentido de las manecillas del reloj.

En la posición 2, la espira se encuentra en el plano neutro, pero debido a la inercia, la espira sigue girando y una vez que rebasa el plano neutro se produce la conmutación y la corriente invierte su sentido. Como resultado, la espira sigue su movimiento de rotación hasta llegar a la posición 3, ocurriendo nuevamente la conmutación y la espira continúa girando. Esta es, en resumen, la operación básica de un motor de c.d.

Si tenemos una armadura con devanado múltiple, el par o fuerza de torsión se mantiene en forma uniforme y constante sobre la armadura debido al gran número de bobinas por las cuales circula corriente eléctrica a través de ellas - al mismo tiempo.

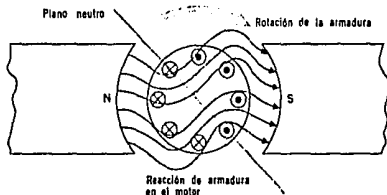
En los motores reales, la armadura la constituyen un conjunto de bobinas devanadas sobre un núcleo magnético y conectadas a un conmutador, el cual está en contacto con las escobillas que conectan la armadura con la fuente. El campo magnético es producido de la misma forma que en los generadores, esto es, por medio de electroimanes montados sobre piezas polares empotradas en la cubierta.

6.5.2 Reacción de armadura.

Al circular corriente por la armadura del motor, se crea un campo magnético alrededor de las bobinas de la armadura, lo cual provoca que el campo magnético original se dis-

torsione. Esta distorsión del campo original recibe el nombre de reacción de armadura.

La dirección de la distorsión debida a la reacción de armadura en un motor, es la opuesta a la que existe en un generador. Esto quiere decir que existe un desplazamiento en el plano neutro y que este desplazamiento es en sentido -- contrario a la rotación de la armadura.



La reacción de armadura varía de acuerdo a la cantidad de corriente que circula por ella. A mayor corriente, mayor desplazamiento del plano neutro con respecto al plano neutro geométrico. Este desplazamiento del plano neutro, al igual que en los generadores, produce una conmutación defectuosa.

Si el motor funciona en una dirección única con velocidad uniforme, basta desplazar las escobillas al nuevo plano neutro para corregir la conmutación.

Si el motor funciona con velocidad y carga variables y -

su dirección no es la misma, la corriente en la armadura - sufre cambios constantes y la posición del plano neutro es inestable. Resulta en este caso impráctico estar moviendo-constantemente las escobillas para una conmutación efectiva. Lo adecuado en estos casos, es corregir la reacción de armadura mediante interpolos y devanados compensadores, -- tal y como se hace en el generador, de manera que el plano neutro se encuentre exactamente entre los polos y las escobillas no se muevan una vez que se han ajustado en forma - correcta.

6.5.3 Eficiencia y potencia del motor de c.d.

La potencia mecánica de salida de un motor, depende de - la velocidad a la cual gire su armadura y del par que desarrolle el motor. Podemos utilizar la siguiente fórmula para calcular la potencia en hp:

$$P_{\text{mec}} = \frac{T \times w}{5252}$$

P_{mec} = Potencia mecánica en hp

T = Par desarrollado en lb-pie

w = Velocidad de la armadura en rpm

La eficiencia de un motor es la relación existente entre la potencia de entrada y la potencia de salida. En forma - de porcentaje lo podemos expresar de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{P_{\text{sal}}}{P_{\text{ent}}} \times 100$$

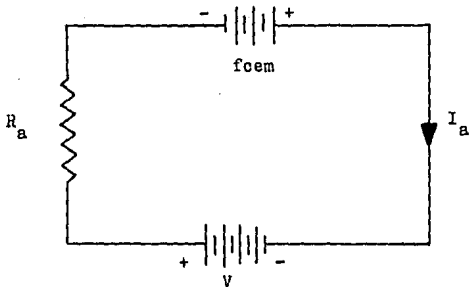
Por lo regular la potencia de entrada es expresada en vatios y la de salida en hp, debido a que una es eléctrica y la otra es mecánica. En esos casos se utiliza la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ vatios}$$

6.5.4 Fuerza contraelectromotriz.

En los motores de c.d., al girar la armadura, las bobinas que la forman cruzan el campo magnético y se induce un voltaje en ellas de la misma forma que se induce en un generador. Este voltaje inducido siempre se opone al voltaje aplicado a las terminales del motor y recibe el nombre de fuerza contraelectromotriz (fcem). Esta fcem depende de -- factores tales como velocidad y dirección de rotación así como de la intensidad del campo magnético.

La fcem siempre es menor que el voltaje aplicado debido a que existe una caída de voltaje debida a la resistencia que presenta el devanado de la armadura y a la corriente que circula por él. Si con los datos anteriores construimos un circuito, obtenemos lo siguiente:



V = Voltaje de alimentación en voltios.

R_a = Resistencia del devanado de armadura y de las escobillas, en ohms.

I_a = Corriente que circula por la armadura.

$fcem$ = Fuerza contraelectromotriz en voltios.

Aplicando la segunda ley de Kirchhoff al circuito, en el cual representamos la $fcem$ como una batería con polaridad opuesta al voltaje aplicado, obtenemos la siguiente ecuación:

$$V = I_a R_a + fcem$$

La corriente que circula por la armadura, despejando la ecuación anterior, resulta ser:

$$I_a = \frac{V - f_{cem}}{R_a}$$

De lo anterior deducimos que el voltaje neto con el cual se alimenta la armadura es $(V - f_{cem})$, siempre y cuando la armadura esté girando. Cuando la armadura está en reposo, - la f_{cem} es cero.

La resistencia de la armadura en los motores de c.d. es muy pequeña, en algunas ocasiones menores que 1 ohm.

En el momento en que arranca un motor, la f_{cem} es nula y por lo tanto debe colocarse una resistencia en forma temporal para limitar la corriente que debe circular por la armadura. De no hacer esto, la corriente alcanza valores tales que la armadura se quemaría casi inmediatamente.

Al aumentar la velocidad del motor, la f_{cem} aumenta, con lo cual, la resistencia de arranque debe reducirse gradualmente hasta que se establezca la f_{cem} , anulándose en ese momento dicha resistencia.

Como puede deducirse, se necesita una resistencia variable que pueda reducirse ya sea en forma manual o automática. El tipo de resistencias usadas son los reóstatos, de los cuales se habló en capítulos anteriores.

6.5.5 Clasificación de los motores de c.d.

La clasificación de los motores de corriente directa es la siguiente:

1. De acuerdo a la forma en que sus devanados de campo -

se conectan a la fuente:

- a. Shunt.
- b. Serie.
- c. Compound.

2. De acuerdo a sus características carga-velocidad:

- a. De velocidad constante.
- b. De velocidades múltiples.
- c. De velocidad ajustable.
- d. De velocidad variable.
- e. De velocidad variable-ajustable.

3. De acuerdo a su cubierta:

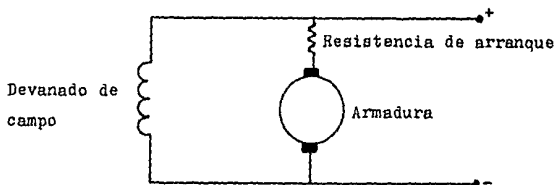
- a. Abierto.
- b. Semicerrado.
- c. A prueba de goteo.
- d. A prueba de agua.
- e. Sumergible.
- f. A prueba de explosión.

A continuación se hará una breve descripción del funcionamiento y características de los motores shunt, serie y -compound.

A. Motores shunt.

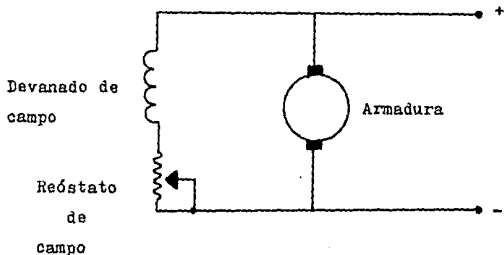
En este tipo de motores, el devanado de campo se conecta a la fuente en paralelo con el devanado de armadura.

La corriente que circula por el devanado de campo se mantiene constante y por esa razón este tipo de motores puede mantener una velocidad constante al alimentar a una carga-variable e inclusive puede funcionar en vacío, es decir, -sin carga, y no representar un peligro para el motor.



Si en un motor shunt hay un aumento en la carga, la velocidad de la armadura disminuye. Esto hace que la f_{cem} reduzca su valor provocando un aumento en la corriente que circula por la armadura. Al aumentar dicha corriente, el par se incrementa y acelera nuevamente la armadura. Esto sucede también en forma inversa al quitarse carga al motor.

En los motores shunt la velocidad puede ser controlada conectando un reóstato en serie ya sea con el campo, con la armadura o con ambos. La forma más empleada es conectar lo al devanado de campo ya que las corrientes que circulan por él son más pequeñas que las que circulan por la armadura.

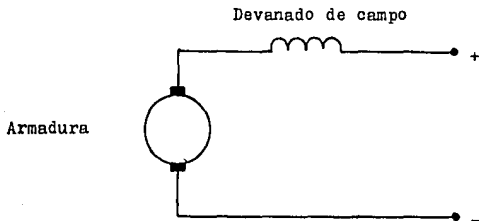


Al conectar la resistencia en serie con el devanado de campo, la corriente que circula por él disminuye al igual que la intensidad del campo magnético, lo cual hace que el motor se acelere debido a que la fcm disminuye al disminuir el campo y la corriente de armadura aumente ocasionando un incremento en el par. Si disminuye la resistencia en serie con el campo, la intensidad de éste aumenta y la velocidad del motor es menor.

Por otra parte, si por alguna razón llega a abrirse el devanado de campo, la corriente que circula por él se reduce a cero y únicamente el magnetismo remanente estará produciendo campo magnético. Si esto sucede, el motor empezará a aumentar su velocidad en forma tal que puede llegar a destruirse debido a la fuerza centrífuga. Puede suceder también que el motor se quemé debido a la corriente tan elevada que toma la armadura bajo estas condiciones.

B. Motores serie.

El motor serie es aquel cuyo devanado de campo se encuentra conectado en serie con la armadura y la fuente. Esto significa que circula la misma corriente por ambos devanados.



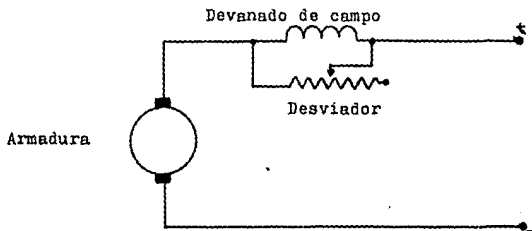
Si aumentamos la carga, el motor disminuye su velocidad y la fcm decrece, lo cual provoca un aumento en la corriente y suministra un par mayor incrementando la intensidad del campo magnético y la corriente de la armadura.

Este motor no funciona, por lo tanto, con velocidad constante ya que el par y la velocidad son inversamente proporcionales, es decir, si el par es elevado, la velocidad es reducida; y cuando el par es reducido la velocidad es elevada.

El motor serie nunca debe ser operado en vacío, ya que de llegar a suceder esto, el motor se acelerará en forma peligrosa. La armadura puede desintegrarse con las bobinas y segmentos del conmutador debido a la fuerza centrífuga.

Este motor se emplea cuando son requeridos grandes pares de arranque y gran rapidez de aceleración al disminuir la carga. Son empleados en grúas, elevadores, trenes y trolebuses eléctricos, debido a que las cargas que manejan son pesadas en el arranque y ligeras una vez que están en movimiento.

En motores serie, el control de velocidad se puede lograr conectando un reóstato en paralelo con el campo en serie. A este reóstato suele llamársele desviador.



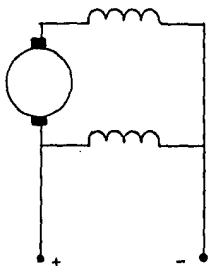
Al incrementar la resistencia en paralelo con el campo, - la corriente por el devanado de campo y el campo en sí, au mentan. Esto dá como resultado que el motor gire más lento para conservar la misma fcem.

C. Motores compound.

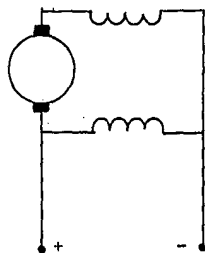
El motor compound es aquel que posee dos devanados de -- campo conectados en serie y en paralelo con la fuente. Se puede decir que este tipo de motor es una combinación de - un serie y un shunt.

Si los campos serie y shunt se colocan de forma tal que se refuerzan entre sí, el motor compound es acumulativo. - Si la conexión se realiza de tal manera que el campo serie se opone al shunt, el motor compound es diferencial.

Compound acumulativo



Compound diferencial

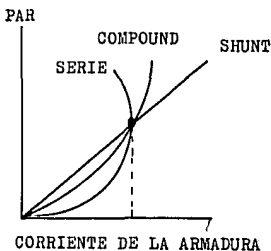
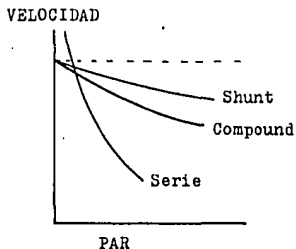


El motor compound acumulativo presenta un excelente parde arranque. Posee también una buena característica de velocidad constante, mejor aún que en un motor shunt. Otra - de sus características es que no se desboca cuando actúa -

en vacío.

Por su parte el motor compound diferencial posee un par de arranque muy pequeño, mas sin embargo, su velocidad puede mantenerse absolutamente constante bajo cargas variables en rango reducido.

En las siguientes gráficas podemos resumir las características de operación de los motores que hemos descrito.



Por último diremos que es posible cambiar el sentido de la rotación de un motor de c.d. invirtiendo las conexiones del devanado de campo o de la armadura, pero nunca ambas, ya que al invertir ambas al mismo tiempo, el motor sigue -

girando en la misma dirección.

6.5.6 Características estructurales.

Como hemos estudiado hasta ahora, los motores y los gene ra do re s de c.d. guardan ciertas similitudes. Y aunque la función de ambos es diferente, sus características estructurales son las mismas, tanto así, que si a un motor se le proporciona potencia mecánica obtenemos potencia eléctrica, es decir, puede actuar como generador. De la misma manera, si un generador lo alimentamos con potencia eléctrica, obtenemos potencia mecánica.

Las únicas diferencias encontradas son la forma de monta je y la aplicación en sí. Habiendo comprendido la construc ci ó n de las partes de un generador, las del motor están so br e ent en d i d a s.

6.6 MANTENIMIENTO DE MOTORES Y GENERADORES DE C.D.

El mantenimiento de las máquinas de c.d., motores y gene ra do re s, lo podemos dividir en dos: preventivo y correctivo.

El mantenimiento preventivo tiene como fin prevenir posi ble s fallas ocasionadas por descuidos del operador. Dentro de las prácticas recomendables están la revisión y a aj u ste co rr e ct o de las escobillas en forma periódica así co mo la adecuada lubricación de los baleros o cojinetes con los cua les el eje de la armadura está sujeto a la corza.

El mantenimiento correctivo tiene lugar cuando el funcio na m i e n t o del generador o motor es anormal. Dicha anomalía

dad puede ser debida a una falla en el funcionamiento de la máquina. Para detectar las posibles causas de acuerdo a los síntomas presentados, puede ser de mucha utilidad la siguiente tabla:

Síntoma: El generador no genera voltaje.

Causa probable:

- a. Velocidad muy baja o invertida.
- b. Campo en circuito abierto. (devanado roto)
- c. Magnetismo residual insuficiente.
- d. Salida en cortocircuito.

Síntoma: Voltaje del generador muy alto (o bajo).

Causa probable:

- a. Corriente de campo alta (baja).
- b. El motor propulsor muy rápido (lento).
- c. Regulador defectuoso.

Síntoma: El motor gira muy rápido (o muy lento).

Causa probable:

- a. Corriente de campo baja (alta).
- b. Campo abierto (parcialmente en cortocircuito).
- c. Conexiones incorrectas.
- d. Bobinas de armadura en cortocircuito.
- e. Carga incorrecta, muy pequeña (o excesiva).

Síntoma: el motor no arranca.

Causa probable:

- a. No hay potencia (circuito abierto).
- b. Conexiones incorrectas.
- c. Sobrecarga eléctrica intensa; baleros o conmutador averiado.
- d. Arranacador defectuoso.

Síntoma: Chispas entre escobillas y conmutador.

Causa probable:

- a. Sobrecarga.
- b. Contacto ligero de las escobillas, conmutador desgastado.
- c. Las escobillas están en un ángulo incorrecto o la bobina de conmutación defectuosa.
- d. Bobinas de la armadura abiertas o en cortocircuito.
- e. Corriente de campo incorrecta.

Síntoma: Ruido, vibración excesiva.

Causa probable:

- a. Baleros defectuosos-juego excesivo.
- b. Golpeo de la armadura con los polos.
- c. Desbalance de la armadura.

Síntoma: Baleros calientes.

Causa probable:

- a. Falta de lubricante o baleros sucios.
- b. Baleros defectuosos.
- c. Alineamiento defectuoso o baleros muy apretados.
- d. Flecha torcida o desbalanceada.

Síntoma: Partes eléctricas sobrecalentadas.

Causa probable:

- a. Sobrecarga (todas las partes calientes).
- b. Corriente de campo excesiva (campo caliente).
- c. Escobillas y conmutador desalineados o desgastados (-escobillas y conmutador calientes).
- d. Bobinas de la armadura en cortocircuito (armadura caliente).

6.7 ARRANQUE Y MANIOBRA DE MOTORES DE C.D.

Se conoce como combinador a un dispositivo o grupo de -- dispositivos que sirven para controlar de una manera predeterminada la potencia cedida por el motor al aparato al -- cual está conectado.

Las funciones más importantes que cumplen los combinadores son:

- a. Arranque y paro de motores.
- b. Limitación de la corriente de arranque.
- c. Ajuste de la velocidad.
- d. Inversión del sentido de giro.
- e. Protección contra sobrecargas y sobretensiones.
- f. Frenado eléctrico.

Algunos combinadores están diseñados simplemente para arrancar y detener motores; otros ejecutan algunas de las operaciones anteriores, y existen otros mas que son capaces de ejecutarlas todas.

Los combinadores pueden ser manuales o automáticos y conectan el motor al voltaje pleno de la red o a un voltaje-

reducido.

Como ya se mencionó anteriormente, la resistencia de los devanados de la armadura es muy pequeña y si fuera la única oposición que hubiera, la corriente a través de la armadura sería muy grande y la quemaría. Sin embargo, cuando el motor está funcionando la fem inducida en la armadura se opone al voltaje aplicado y limita la corriente.

En el momento de arrancar el motor, dicha fem es cero y la corriente de arranque debe ser limitada. La forma de hacerlo es mediante una resistencia de arranque conectada en serie con la armadura y la cual debe ir eliminándose gradualmente a medida que el motor se acelera y genera la fem en la armadura.

6.7.1 Combinadores manuales.

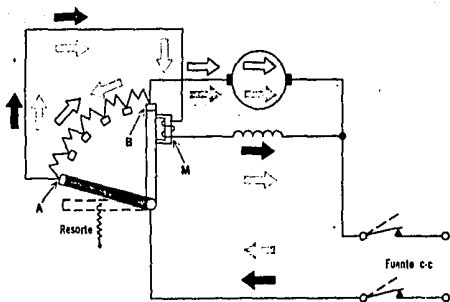
a. Reóstato de tres bornes.

Este reóstato es en sí una resistencia con varias tomas que limita la corriente en el momento del arranque y es utilizado para motores shunt y compound.

Las tomas o derivaciones de la resistencia van conectadas a contactos fijos llamados "plots", los cuales están montados sobre la placa del reóstato en disposición circular.

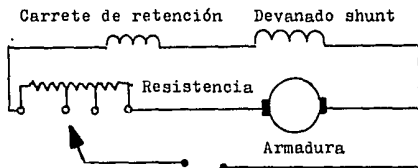
En la siguiente página se muestran las conexiones de este reóstato a un motor shunt así como un esquema simplificado.

La manivela sirve para accionar el reóstato y el carrete de retención actúa como un electroimán que mantiene fija la manivela en la última posición, cuando la resistencia -



M = CARRETE DE RETENCION

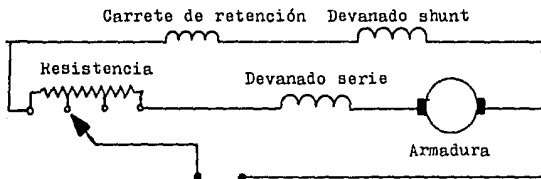
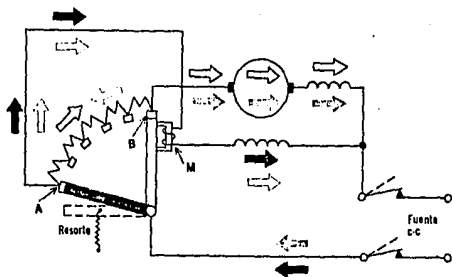
A y B = POSICIONES EXTREMAS DE LA MANIVELA



es cero. Si dejara de circular corriente por el carrete, -
 cesa su atracción sobre la manivela y ésta vuelve a su po-
 sición original por la acción de un resorte abriendo el --
 circuito y deteniendo al motor. El carrete de retención ac-
 túa como una protección en caso de que se abra el devanado
 de campo, lo cual produce un desbocamiento en los motores-
 shunt como ya se mencionó anteriormente.

Este tipo reóstato puede conectarse a un motor compound-

en donde la única diferencia sería la adición del devanado serie a la configuración anterior. A continuación se muestran los diagramas de conexiones.

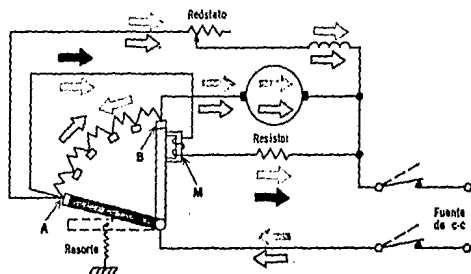


b. Reóstato de cuatro bornes con regulador de velocidad.

Este tipo de reóstato es similar al estudiado anteriormente con la variante de que la conexión del carrete de retención se hace de manera distinta y lleva una resistencia en serie para limitar la corriente que circula por él.

La regulación de la velocidad se realiza intercalando una resistencia en serie en el devanado de campo que hace aumentar progresivamente la velocidad del motor hasta que la manivela alcance el último plot. La manivela puede fijarse en cualquier posición sin necesidad de sujetarse con la mano.

A continuación se muestra un reóstato de cuatro bornes con regulador de velocidad conectado a un motor



6.7.2 Disyuntores y relevadores de sobrecarga.

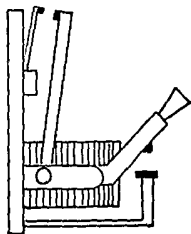
La protección de un motor en sí y de su reóstato contra sobrecargas accidentales o de larga duración, se realiza mediante dispositivos cuya función es desconectar automáti

mente el motor de la red cuando la intensidad de la co---
rriente alcanza un valor determinado. Se emplean para este
fin fusibles, disyuntores magnéticos o térmicos y relevado
res. Los fusibles han sido tratados en otro capítulo, por-
lo cual, analizaremos únicamente los dispositivos restan-
tes.

a. Disyuntores magnéticos.

Son dispositivos de protección cuya misión es abrir el -
circuito del motor cuando el valor de la corriente rebasa-
cierto límite prefijado.

Los disyuntores magnéticos consisten en una bobina de a-
lambre grueso, suficiente para soportar la corriente que a
limenta al motor. Esta bobina, la cual se conecta en serie
con la red, posee un núcleo central que empuja una palanca
en cuanto la corriente rebasa el límite prefijado. Dicha -
palanca se encarga de interrumpir el circuito del motor. A
continuación se muestra un dispositivo de este tipo.



Existen disyuntores magnéticos de acción instantánea y - de acción retardada. Los primeros interrumpen el circuito inmediatamente se presenta la sobreintensidad, y los segun dos lo hacen después de un cierto tiempo.

b. Disyuntores térmicos.

El disyuntor térmico difiere en todo del magnético no -- obstante, su función es la misma.

Estos disyuntores, en lugar de bobina, poseen un elemento bimetalico u otro elemento térmico, que es el encargado de interrumpir el circuito. La acción de elemento bimetalico fue estudiada en el sección correspondiente a termostatos.

c. Relevadores (relés) magnéticos.

Los relevadores magnéticos son dispositivos que tanto -- pueden abrir como cerrar un circuito cuando la corriente - que circula excede a determinado valor.

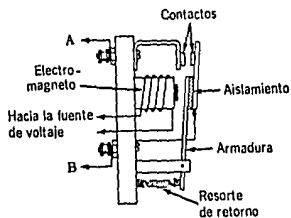
En su forma más simple, un relevador consta de un elec-- troimán, un brazo móvil de hierro y un par de contactos.

En el relevador normalmente abierto (NA), al circular co rriente por el circuito, o al sobrepasar determinado valor esa corriente, el campo magnético creado por el electroi-- mán atrae el brazo móvil hacia su núcleo. Entonces, los -- contactos se cierran cerrando un circuito a través de un - par de terminales.

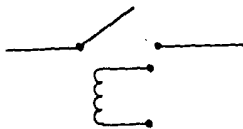
Cuando es desenergizado el electroimán, el resorte de re torno regresa el brazo móvil a su posición abierto y los - contactos abiertos abren el circuito.

A continuación se muestra un relevador normalmente abier to.

RELEVADOR NORMALMENTE ABIERTO

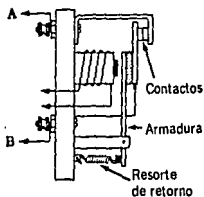


El símbolo de un relevador normalmente abierto es el siguiente:

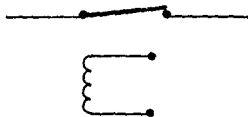


En el relevador normalmente cerrado, los contactos se encuentran cerrados cuando el electroimán está desenergizado, tal y como se muestra en la figura que aparece enseguida:

RELEVADOR NORMALMENTE CERRADO



Cuando se energiza el relevador, el brazo móvil es atraído hacia el núcleo del electroimán y los contactos se abren, abriendo de esa manera el circuito. A continuación - el símbolo de un relevador normalmente cerrado (NC).



Los relevadores están previstos de manera que puedan volverse a poner en servicio automática o manualmente. Además encontramos relevadores comerciales con más de un par de -

de contactos, siendo el número de éstos acorde a los reque
rimientos del circuito.

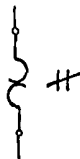
d. Relevadores (relés) térmicos.

El relevador térmico está compuesto por una tira bimetá-
lica como las empleadas en los termostatos. El elemento --
térmico se calienta por una resistencia montada junto a él
y conectada en serie con la línea. Cuando circula por la -
resistencia una corriente excesiva, se desarrolla en ésta-
el calor necesario para activar el relevador.

La acción retardada es una ventaja que presentan los re-
levadores térmicos, pues no interrumpen el circuito hasta-
pasados algunos segundos de haberse presentado la sobrecar-
ga, lo cual es muy importante al arrancar un motor, ya que
en ese instante la corriente experimenta un aumento de po-
ca duración.

El relevador térmico constituye, en sí, una buena proteg-
ción para motores cuando las sobrecargas son de larga dura-
ción. La reconexión de estos relevadores se efectúa en for-
ma manual o automática.

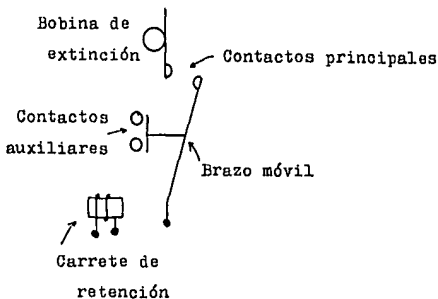
La forma usual de representar un relevador térmico de so-
brecarga en los diagramas, es dibujar unos contactos nor--
malmente cerrados próximos al símbolo de un elemento cale-
factor o de caldeo, tal y como se muestra a continuación:



6.7.3 Contactores magnéticos para corriente directa.

Los contactores para c.d. son interruptores magnéticos - compactos utilizados para el control a distancia de motores así como de cierto tipo de circuitos. Los contactores no llevan relevadores de sobrecarga incorporados.

Los contactores magnéticos pueden ser unipolares, bipolares o tripolares. En cualquiera de los tipos siempre es utilizada una sola bobina para cerrar los contactos del interruptor. Las partes principales de un contactor magnético unipolar son un carrete de retención, un brazo móvil, - contactos principales y auxiliares, todo lo cual es mostrado en el siguiente digrama:



Podemos observar que los contactos principales se cierran cuando se excita el carrete de retención. Basta una corriente muy pequeña para excitar este carrete y lograr que el brazo móvil sea atraído. La bobina de extinción tiene como finalidad apagar el arco formado al separarse los

contactos.

La ventaja principal de un contactor magnético es la facilidad de poderlo maniobrar, cualquiera que sea su tamaño, enviando una corriente pequeña a través de su carrete. Otra ventaja es que puede ser gobernado desde una estación de pulsadores situada a distancia.


La forma de representar a un contactor magnético es la siguiente:



Los contactores magnéticos se maniobran generalmente desde una estación de pulsadores. Las estaciones llevan dos botones o pulsadores: el de arranque y el de paro. Pulsando el botón de arranque se cierran dos contactos normalmente abiertos y pulsando el de paro se abren los contactos normalmente cerrados. Al dejar de pulsar un botón cualquiera, un muelle se encarga de hacerle recobrar su posición inicial.

A continuación se muestran diversas maneras de representar estaciones de pulsadores arranque-paro:



Paro 



Arranque

6.7.4 Arrancadores magnéticos para conexión a pleno voltaje.

Los arrancadores magnéticos están formados por un contactor y un relevador de sobrecarga, por lo general del tipo de reconexión manual. Estos arrancadores solo se utilizan con motores pequeños de hasta 2 hp o cuando la aplicación del voltaje pleno de la red no daña al motor.

Con este tipo de arrancador se protege al motor contra sobrecargas, sobrevoltajes y ausencia de voltaje. Cuando existe una sobrecarga prolongada, el relevador se dispara e interrumpe el circuito de alimentación de la bobina del -- contactor al desenergizarse abre los contactos principa---les.

Existe otro tipo de arrancador a pleno voltaje el cual -- sirve, además de poner en marcha el motor, para invertir -- su sentido de giro. Reciben el nombre de arrancadores/in--versores y suelen ir con un relevador de retardo, cuyo ob--jeto es impedir la inversión del sentido de giro del motor antes de que éste se halle completamente parado.

Existen también los llamadas arrancadores magnéticos pa--ra marcha intermitente, los cuales permiten al motor fun--cionar durante breves periodos de tiempo. A este tipo de arrancador se le ha añadido un tercer pulsador (intermiten--te) a la estación normal paro-arranque. Al oprimir el pul--sador intermitente, el motor se pone en marcha, sin embar--go, tan pronto como deja de accionarse dicho pulsador el -- motor vuelve a pararse sin necesidad de tocar en absoluto--el pulsador de paro.

6.7.5 Arrancadores para conexión a voltaje reducido.

Los motores de potencia superior a medio hp se ven en la necesidad de utilizar resistencia en la armadura durante - la puesta en marcha inicial con objeto de mantener la corriente de arranque dentro de límites seguros.

Conforme el motor va acelerando se suprime esta resistencia automáticamente en un solo paso o en varias etapas, según sea el tamaño del motor y el tipo de arrancador empleado. La supresión automática de la resistencia en el circuito del motor puede lograrse de diferentes maneras. Mencionaremos únicamente los tipos de arrancadores automáticos - para voltaje reducido, entre los cuales tenemos:

- a. De fuerza electromotriz.
- b. De tambor.
- c. De enclavamiento.
- d. Magnético, con ajuste de tiempo.
- e. Mecánico, con ajuste de tiempo.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA



TESIS CON
FALLA LE OR:GEN

"Guía Teórica del Técnico Electricista"

TOMO II

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

SERGIO BORJA JIMENEZ

GUADALAJARA, JAL.

1986

CAPITULO 7

GENERADORES Y MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

7.1 GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA.

Iniciamos este capítulo con el estudio de los generadores de corriente alterna, llamados comúnmente alternadores, término con el cual nos referiremos a ellos durante la presente exposición con el fin de diferenciarlos de los generadores de corriente directa también llamados dínamos.

Gran parte del material inherente a los alternadores fue tratado en detalle en el capítulo anterior, por lo cual solamente se hará mención de algunos términos sin profundizar demasiado en ellos, tomando en cuenta que ya han sido estudiados.

7.1.1 Generalidades.

Como es sabido, la generación de la energía eléctrica en la actualidad se hace en forma de corriente alterna debido a las múltiples ventajas con la que puede ser transportada grandes distancias con un mínimo de pérdidas. Es por eso que los alternadores adquieren una gran importancia ya que son el punto de partida de todo un proceso en el cual está basado materialmente, toda la actividad humana en cuanto a trabajo productivo se refiere.

Las diferencias entre los alternadores y los generadores de c.d. son muy marcadas, ya que las potencias generadas por los alternadores alcanzan valores muy elevados, imposibles de igualar con generadores de c.d. Estos valores tan-

elevados son logrados por ciertas características que veremos más adelante.

En ciertos alternadores es posible obtener más de una salida con lo cual es posible alimentar a más de un circuito al mismo tiempo, cosa que solo se lograría con más de un generador de c.d.

Es importante hacer la aclaración de que aunque los alternadores presenten diferentes características que los generadores de c.d., el principio de funcionamiento de ambos es exactamente el mismo; la ley de la inducción electromagnética formulada por Faraday.

De acuerdo a la aplicación que se les dé, podemos encontrar desde alternadores de gran tamaño y potencias generadas del orden de los millones de VA, hasta aquellos alternadores pequeños encontrados en la casi totalidad de los automóviles modernos y cuyas potencias generadas son inferiores a mil VA.

7.1.2 Tipos de alternadores.

Para que sea posible la obtención de un voltaje inducido en un conductor, éste debe estar en movimiento relativo -- con un campo magnético. Si suponemos que el campo es producido por un imán de barra, el voltaje inducido se puede obtener si movemos el conductor manteniendo fijo el imán, o bien, si el imán es puesto en movimiento fijando el conductor. La única condición es el movimiento relativo entre ambos, conductor y campo magnético.

Para que esto sea posible, alternadores y generadores de c.d. se construyen de dos partes mecánicas: un rotor y un-

estator.

En los generadores de c.d., las bobinas giran en presencia de un campo magnético fijo y la salida, es decir, el voltaje inducido en la armadura giratoria, tiene que ser convertido en voltaje de c.d. fluctuante mediante un conmutador, ya que el voltaje inducido es de corriente alterna.

En los alternadores, al no ser necesario el proceso de la conmutación, podemos hacer girar la armadura, o bien, podemos hacer girar el campo manteniendo fijas las bobinas en las cuales se inducirá un voltaje.

Podemos encontrar, entonces, alternadores en los cuales gire la armadura, y alternadores cuyo campo magnético sea el que esté en movimiento.

De acuerdo a la forma en que es generada la fem, los alternadores también pueden ser síncronos o de inducción. A estos últimos se les conoce también como asíncronos.

Podemos elaborar una clasificación general de los alternadores, la cual quedaría como sigue:

| | | |
|---|---|--------------------------|
| ALTERNADORES SINCRONOS | } | a. De armadura giratoria |
| | | b. De campo giratorio |
| ALTERNADORES DE INDUCCION O ASINCRONOS | } | a. De armadura giratoria |
| | | b. De campo giratorio |

Los alternadores síncronos se caracterizan por guardar u

na relación fija entre velocidad, frecuencia y número de polos, mientras que los alternadores de inducción o asíncronos no se someten a tal relación.

En la presente exposición enfocaremos nuestra atención a los alternadores síncronos por ser los más usados en la generación de energía eléctrica.

7.1.3 Alternadores de armadura giratoria.

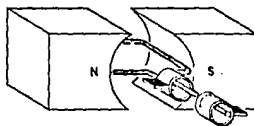
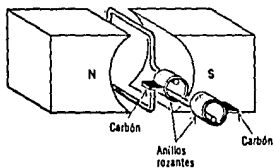
Este tipo de alternador es similar al generador de c.d., ya que son las bobinas las que se encuentran girando en presencia de un campo magnético fijo. Dicho de otra manera, en este tipo de alternadores, el campo magnético constituye el estator.

Como se recordará, al hacer girar una espira en presencia de un campo magnético, se induce en ella un voltaje alterno y senoidal, al cual, mediante un conmutador era transformado en un voltaje de c.d.

Si eliminamos el conmutador y conectamos de alguna forma los extremos de la espira con un circuito exterior, entonces obtendríamos lo que se llama un alternador elemental.

Los extremos de la espira no pueden ser conectados directamente a las escobillas debido a que los extremos deben girar libremente con la espira, ya que si no lo hicieran, al girar la espira se torcerían hasta romperse.

Lo anterior se soluciona mediante el uso de anillos metálicos en los extremos de la bobina rotatoria. Cada anillo es ajustado a un extremo de la bobina y ambos anillos giran al girar la bobina. Estos anillos reciben el nombre de anillos rozantes o deslizantes.



Cada anillo se encuentra conectado permanentemente al extremo respectivo de la bobina y las escobillas hacen contacto eléctrico con ellos. Cuando la bobina gira, los anillos rozantes se deslizan a lo largo de las escobillas manteniendo siempre contacto eléctrica con éstas.

El campo magnético en los alternadores de armadura giratoria es obtenido de la misma manera que en los generadores de c.d., o sea, mediante un devanado de campo arrollado en piezas polares, las cuales se encuentran fijas a la cubierta del alternador.

La corriente que circula por el devanado de campo debe ser constante, por lo cual, es imposible tomarla de la salida del alternador, debiéndose utilizar una fuente de c.d. para alimentar los devanados de campo.

De acuerdo a lo anterior, se deduce que todos los alternadores son de excitación separada. A la fuente de c.d. empleada para la producción del campo magnético se le da el nombre de máquina excitatriz. En muchos alternadores, la -

máquina excitatriz la constituye un pequeño generador de c.d. que se encuentra dentro de la misma cubierta del alternador.

La armadura giratoria es empleada únicamente en alternadores de pequeño tamaño y cuya potencia no exceda a los 50 kVA.

7.1.4 Alternadores de campo giratorio.

La mayoría de los alternadores que generan grandes cantidades de potencia y cuyos valores en el voltaje de salida son de varios miles de voltios, son contruidos con la armadura estacionaria, la cual se conecta directamente a la carga. El rotor de este tipo de alternador lo constituye el campo magnético.

Las razones por las cuales se emplea este tipo de configuración en los alternadores de potencia están basadas principalmente en lo que al aislamiento se refiere.

Al estar la armadura estacionaria conectada directamente a un circuito externo, no son necesarios los anillos rozantes ni las escobillas. Las conexiones fijas, por tanto, son mucho más fáciles de aislar que los anillos rozantes cuando los voltajes son muy elevados.

Como el devanado de campo es el que gira, deben usarse anillos rozantes y escobillas para conectar el devanado a su fuente excitatriz. Sin embargo, los voltajes y corrientes manejados en este caso, son pequeños comparados con los que se generan en la armadura, por lo cual, el aislamiento de dichos anillos no presenta ninguna dificultad.

Otra ventaja que resulta del empleo de una armadura estacionaria es que hace posible velocidades de rotación mucho más elevadas y por lo tanto, pueden obtenerse voltajes más altos de los que pueden ser obtenidos con armaduras giratorias.

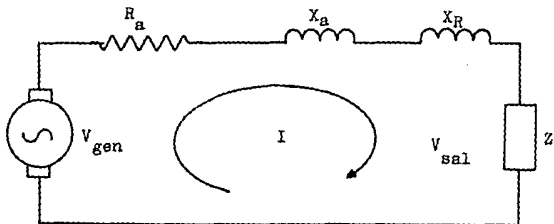
Si la velocidad de rotación es muy elevada, la fuerza centrífuga resultante hace difícil el aislamiento si la armadura es la que gira, cosa que no sucede cuando el devanado de campo gira a altas velocidades.

Dependiendo de la posición del rotor, los alternadores cuyo campo es giratorio pueden dividirse en dos clases: vertical y horizontal.

7.1.5 Características de funcionamiento de los alternadores.

Dentro de las características de operación, podemos decir que el valor del voltaje generado por un alternador depende de la velocidad a la cual gire el rotor y de la intensidad del campo magnético existente.

Cuando el alternador es conectado a una carga cuya impedancia es Z , se obtiene un circuito equivalente, el cual es mostrado a continuación.



- V_{gen} = Voltaje efectivo generado por el alternador.
 R_a = Resistencia debida a los devanados de la armadura.
 X_a = Reactancia inductiva debida a la inductancia presentada por el arrollamiento de los devanados de la armadura.
 X_R = Reactancia inductiva a la cual equivale la reaccion de armadura en un alternador.
 V_{sal} = Voltaje efectivo de salida, el cual es igual al voltaje generado menos las caídas de potencial debidas a la resistencia y reactancias mencionadas.
 Z = Impedancia de la carga.
 I = Corriente efectiva que circula por el circuito.

Cuando existen variaciones en la carga, el voltaje de salida de un alternador también tiende a cambiar. La razón principal son las caídas de voltaje IR_a , IX_a e IX_R .

La caída IR_a depende sólo de la cantidad en la cual cambia la carga.

Las caídas IX_a e IX_R dependen también del factor de potencia del circuito, por lo tanto, el voltaje de salida -- puede aumentar o disminuir.

Como resultado de todo esto, un alternador que tiene una regulación satisfactoria para determinado factor de potencia, puede tener mala regulación para otro valor del factor de potencia.

Debido a su mala regulación inherente a su funcionamiento, los alternadores generalmente están provistos de reguladores auxiliares que pueden ser operados en forma manual

o automática.

Por otra parte, la velocidad y el número de polos del alternador determinan la frecuencia de c.a. generada. La relación existente entre ellos, válida solo para alternadores síncronos, es la siguiente:

$$f = \frac{p \times \text{rpm}}{120}$$

f = Frecuencia en ciclos por segundo (hertz)

p = Número de polos

rpm = Revoluciones por minuto del rotor.

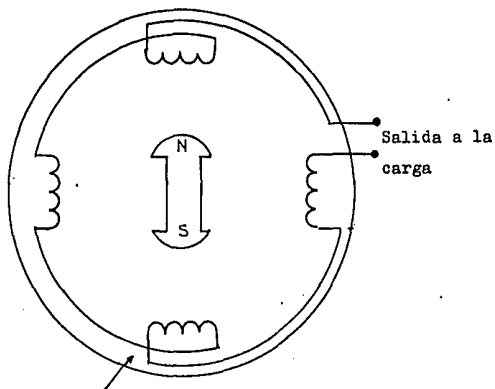
7.1.6 Alternadores monofásicos.

Cuando se habló del alternador elemental, la armadura -- fue representada por una sola espira. El voltaje inducido en esta espira sería muy pequeño por lo que en realidad la armadura consta de numerosas bobinas, cada una con más de una espira.

Las bobinas se devanan de manera que cada uno de los voltajes en las espiras de cualquier bobina se suman para producir el voltaje total de la bobina.

Las bobinas se pueden conectar de varias maneras. Si todas las bobinas de la armadura se conectan en serie aditiva, el alternador tiene una salida única senoidal y cuyo valor en cualquier momento es la suma de los voltajes inducidos en cada una de las bobinas. Un alternador con la armadura devanada de esta manera recibe el nombre de alterna

dor monofásico.



Bobinas de armadura

En la práctica, muy pocos alternadores son monofásicos, ya que puede lograrse una mayor eficiencia conectando las bobinas de la armadura de acuerdo a otro sistema.

7.1.7 Alternadores trifásicos.

Los alternadores polifásicos son aquellos que tienen dos o más devanados monofásicos esparcidos en forma simétrica alrededor del estator. Dentro de los alternadores polifásicos, el que mayor importancia tiene, sin duda alguna, es el trifásico.

En un alternador trifásico, como su nombre lo indica, existen tres devanados monofásicos espaciados igualmente. -

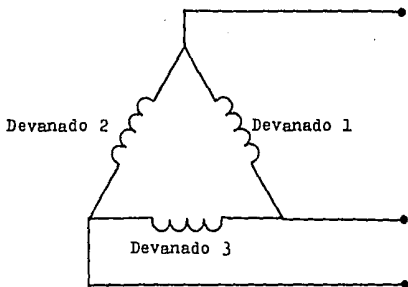
En la práctica, las seis terminales de salida de los alternadores trifásicos se conectan entre sí para formar:

- a. Un sistema de tres hilos con devanados en conexión --delta.
- b. Un sistema de tres hilos con devanados en conexión estrella.
- c. Un sistema de cuatro hilos con devanados conectados - en estrella.

A continuación, analizaremos cada uno de los sistemas suponiendo que las cargas están balanceadas, es decir, se encuentran uniformemente distribuídas entre las tres fases.

- a. Sistema de 3 hilos con devanados en conexión delta.

En este sistema, los devanados de la armadura se conec--tan en serie formando un circuito cerrado. De las uniones de los devanados salen tres hilos, tal y como se muestra a continuación.



Los tres hilos que salen de la conexión delta se usan para conectar la salida del generador a la carga. Al voltaje

existente entre cualquier par de hilos se le conoce como - voltaje de línea. También se llama voltaje de fase al voltaje generado en un devanado y que aparece en las terminales del mismo.

En este sistema, los voltajes de línea y de fase son iguales.

$$V_{\text{línea}} = V_{\text{fase}}$$

La corriente que circula por cualquier línea es $\sqrt{3}$ veces la corriente en cualquier fase del devanado.

$$I_{\text{línea}} = I_{\text{fase}}$$

La potencia real total producida por el alternador en este sistema es igual a $\sqrt{3}$ veces la potencia real en cualquiera de las líneas. Entonces:

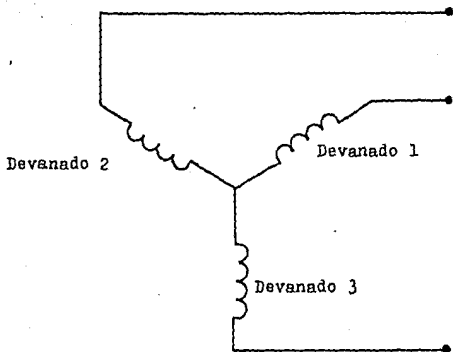
$$P = (\sqrt{3})(V_{\text{línea}})(I_{\text{línea}})(\text{Factor de potencia})$$

b. Sistema de 3 hilos con devanados en conexión estrella.

En este sistema, los devanados se encuentran conectados en estrella.

En este tipo de conexión, tres de las terminales de los devanados se unen entre sí dejando las otras tres terminales libres para conectar la carga, tal y como se muestra en la figura de la siguiente hoja.

La relación existente entre los voltajes de línea y de fase es la siguiente:



$$V_{\text{línea}} = \sqrt{3} V_{\text{fase}}$$

Por otra parte, las corrientes de línea son iguales a -- las corrientes de fase.

$$I_{\text{línea}} = I_{\text{fase}}$$

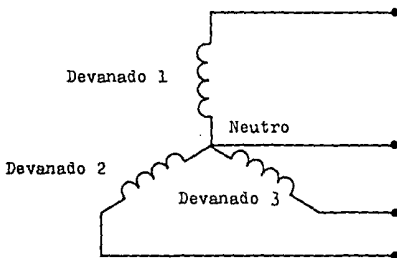
La potencia total real que produce un alternador con conexión estrella es igual a la producida por uno con conexión delta. Por lo tanto, la potencia real total es igual a:

$$P = (\sqrt{3})(V_{\text{línea}})(I_{\text{línea}})(\text{Factor de potencia})$$

c. Sistema de 4 hilos con devanados en conexión estrella

El sistema en estrella de tres hilos se puede convertir-

en uno de cuatro hilos añadiéndole uno adicional y conectándolo al punto medio de la estrella. Dicho hilo adicional recibe el nombre de neutro.



Por el hilo neutro no circula corriente debido a que las cargas están equilibradas, sin embargo, se usa con el fin de mantener la distribución del voltaje cuando se desequilibran las corrientes debido a un desbalanceo en las cargas.

7.1.8 Características estructurales de los alternadores.

Prácticamente casi la totalidad de los alternadores se construyen con armaduras estacionarias y campos giratorios.

Los devanados de armadura se colocan siguiendo la circunferencia interna de la cubierta del alternador, devanándose las bobinas sobre un núcleo formado por chapas de acero laminado de un grosor de 0.035 cm aproximadamente. Para que el núcleo tenga el espesor requerido, se disponen ca-

pas sucesivas al igual que en los núcleos de los transformadores y generadores de c.d.

La carcasa que soporta el núcleo de la armadura se construye con láminas de acero soldadas eléctricamente. Cuando se trata de grandes turboalternadores (conjunto de turbina y alternador), el calentamiento producido hace necesaria una ventilación forzada. La carcasa entonces debe diseñarse con conductos internos adecuados para permitir el libre movimiento de grandes volúmenes de aire o gas hidrógeno, el cual se hace circular para lograr el enfriamiento.

Cuando se trata de alternadores que operen a baja o media velocidad, las dimensiones que los caracterizan proveen de grandes superficies para lograr un enfriamiento satisfactorio por radiación directa. En estos alternadores la acción aireadora del campo giratorio puede ser incrementada si se añaden aspas de ventilador alrededor de la periferia.

Los rotores de los alternadores varían en su construcción dependiendo principalmente de la velocidad a la cual se opere.

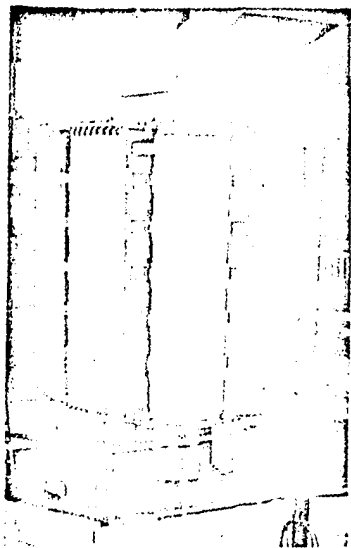
En los alternadores que trabajan a altas velocidades, el rotor es de forma cilíndrica y diámetro pequeño. Los devanados de campo se incrustan firmemente a las ranuras de las piezas polares, existiendo de 2 a 4 polos únicamente.

En los alternadores diseñados para operar a medias y bajas velocidades, el rotor es de polos salientes, el cual se construye apilando varias laminaciones para formar las piezas polares, las cuales están atornilladas entre sí y encima de ellas se encuentran las bobinas de campo.

Las bobinas, en ambos tipos de rotor, se conectan a los-

anillos deslizantes montados sobre la flecha del rotor.

Para la excitación del campo, en los alternadores de --- gran tamaño se instala un generador de c.d. sobre la fle--- cha. En algunos casos, cuando el alternador es muy peque--- ño, se emplean imanes permanentes para el rotor, prescind--- diendo de esa manera de la máquina excitatriz.



ROTOR DE UN ALTERNADOR TRIFASICO DE 67 MVA

7.1.9 Clasificación de los alternadores.

Los alternadores no deben clasificarse según la máxima potencia de consumo permisible de la carga, sino de acuerdo con la potencia aparente máxima que pueden suministrar, ya que la potencia consumida en un circuito de c.a. depende del factor de potencia del circuito, lo cual significa que un alternador puede alimentar una cantidad moderada de potencia real para una carga y, sin embargo, si el factor de potencia de la carga fuera bajo, la potencia total o aparente que el alternador produce realmente puede ser muy grande. En estas condiciones el alternador puede quemarse.

Así pues, se expresa la capacidad de un alternador en voltamperes o kilovoltamperes así como se especifica el voltaje de generación. Con estos datos podemos conocer la corriente máxima que el alternador puede producir, independientemente del factor de potencia de la carga.

Como ejemplo de lo anterior, un alternador de 82,500 kVA y 13,800 voltios puede producir sin peligro una corriente máxima de 5,978 amperes.

También es usual expresar las rpm nominales del alternador así como el número de polos, con lo cual queda definida la frecuencia de generación del alternador.

7.2 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Los motores de c.a. al igual que los de c.d. son dispositivos que transforman energía eléctrica en energía mecánica.

Como su nombre lo indica, los motores de c.a. son aque--

llos que son alimentados precisamente con c.a. y debido a ello, los podemos dividir en:

1. Polifásicos.
2. Monofásicos.

Ya sea que el motor sea polifásico o monofásico, el principio de operación es el mismo para ambos: la c.a. aplicada al motor producirá un campo magnético giratorio y este campo hará que gire el rotor del motor.

Una clasificación general de los motores de c.a., sería la siguiente:

MOTORES POLIFASICOS:

1. Síncronos.
2. De inducción: a. Con rotor jaula de ardilla.
b. Con rotor devanado.

MOTORES MONOFASICOS:

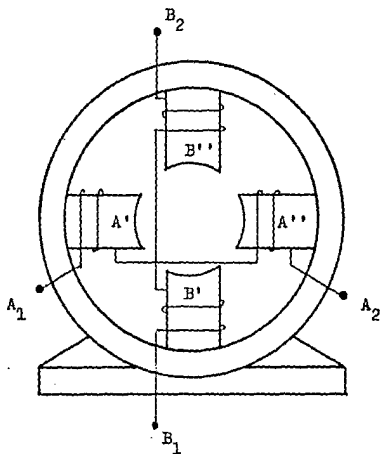
1. Síncronos: a. De histéresis.
b. De reluctancia.
2. De inducción: a. De fase partida.
b. De polo fantasma.
c. Con capacitor.
3. De repulsión.
4. Universal.

7.2.1 El campo magnético giratorio.

El principio de la creación de un campo magnético giratorio se puede comprender de manera sencilla para un motor -

de 2 o 3 fases. Usaremos el campo magnético giratorio creado en el estator de un motor bifásico para ilustrar de una manera más fácil su producción. Cabe hacer la aclaración - que aunque los motores de c.a. prácticos tienen las bobinas de campo insertadas en ranuras, lo que dá lugar a polos no salientes, para facilidad en la exposición se emplearán polos salientes.

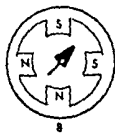
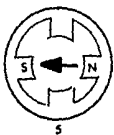
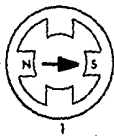
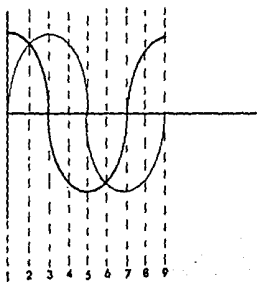
Los devanados de un motor elemental bifásico de dos polos son mostrados en la siguiente figura:



Haremos circular dos corrientes alternas desfasadas 90° entre sí, en cuya gráfica se han marcado 9 instantes de tiempo como referencia para nuestro análisis.

A continuación se muestran las gráficas de las dos corrientes y la forma del campo magnético en el estator cuando

do la corriente entra por A_1 para valores positivos de I_A y entra por B_1 para valores positivos de I_B .



Analizaremos ahora lo anterior. En el instante del ciclo marcado con 1, la corriente de la fase A tiene su valor máximo positivo y la corriente de la fase B es cero. Como ya se especificó que la corriente entra por A_1 y sale por A_2 , el polo A' es un norte y el polo A'' es un sur. En ese instante, los polos B' y B'' están desmagnetizados por ser cero la corriente que circula por ellos.

En el instante 2 del ciclo, los ciclos de ambas corrientes han avanzado 45° a partir del instante 1, y las corrientes de fase I_A e I_B tienen valores que son el 70.7% de sus valores máximos, obteniéndose las polaridades de los polos magnéticos indicada en el diagrama del estator para el instante 2.

En el instante 3, la corriente de la fase A es cero y la de la fase B tiene valor máximo positivo. El campo magnético resultante ha avanzado otros 45° en la dirección de las agujas del reloj.

En el instante 4 del ciclo, la corriente I_A ha invertido su sentido y ahora entra por A_2 y sale por A_1 , lo cual hace que las polaridades magnéticas sean norte para el polo A'' y sur para el polo A', los cuales son opuestos a las polaridades en los instantes 1 y 2. Con las corrientes de fase I_A e I_B con valores de 70.7% de sus máximos, el campo magnético resultante ha girado otros 45° .

Si continuamos con este análisis, observaremos que en un ciclo completo de 360 grados eléctricos, el campo magnético habrá completado una revolución.

Si ahora cambiamos las conexiones de la fuente de alimentación conectadas a las terminales B_1 y B_2 , la corriente entrará al devanado por B_2 y saldrá por B_1 para los valo--

res positivos de I_B . Si se repite el análisis anterior paso a paso, se observará que el campo gira ahora en sentido contrario a las manecillas del reloj. Por lo tanto, se puede invertir el sentido de rotación de un motor bifásico intercambiando un par de conexiones de la línea.

7.3 MOTORES POLIFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNNA.

Estudiaremos, primeramente, los motores polifásicos de c.a., los cuales, como su nombre lo indica, son alimentados con c.a. de más de una fase. Estos pueden ser bifásicos o trifásicos, siendo estos últimos los más empleados.

7.3.1 Motores polifásicos síncronos.

Estos motores son llamados síncronos debido a que la velocidad con la cual gira el rotor en todas las condiciones de carga con funcionamiento normal, es la misma que la velocidad con la cual gira el campo magnético.

Los motores síncronos polifásicos más empleados son los trifásicos, los cuales son idénticos en construcción a los alternadores estudiados.

En cuanto a su funcionamiento, al alimentar con c.a. trifásica el estator, se consigue el campo magnético giratorio. El rotor, que por lo regular es del tipo de polos salientes, se alimenta con c.d., por lo cual actúa como un cierto número de imanes permanentes en forma de barra que son obligados a girar por el campo magnético giratorio del estator. Cuando el campo magnético gira, el rotor también lo hace y a la misma velocidad del campo, esto es, a la ve

locidad de sincronismo.

Ahora bien, como la velocidad con la cual gira el campo magnético depende de la frecuencia de la c.a. con la cual es alimentado el estator y sabiendo que la frecuencia de alimentación es fija, los motores síncronos son, en la práctica, motores de velocidad constante.

Como estos motores operan a la velocidad de sincronismo, no existe un movimiento relativo entre el campo giratorio y el rotor, y por lo tanto, no se induce ningún voltaje adicional en el rotor.

Por otra parte, es importante hacer notar que el motor - síncrono trifásico no produce par cuando se empieza a aplicar potencia y, en consecuencia, no es capaz de ponerse en marcha por sí solo.

En el instante en que se aplica c.a. al estator, aparece el campo magnético giratorio moviéndose a alta velocidad.- Ese campo giratorio pasa a los polos del rotor tan rápido que éste no tiene oportunidad de arrancar ya que es repelido primero en una dirección y luego en otra. Su par de arranque, pues, es igual a cero.

Las formas en que se arranca un motor síncrono trifásico son dos. Primeramente podemos utilizar un pequeño motor, - ya sea de c.a. o c.d. para impulsar el rotor hasta aproximadamente 90% de su velocidad síncrona. Entonces podemos - desconectar el motor de arranque ya que el rotor quedará - fijo al campo magnético giratorio del estator y el motor - continúa produciendo par de funcionamiento.

El segundo sistema es colocando unos devanados llamados amortiguadores sobre los devanados del rotor. Estos devanados son similares a los usados en los motores de inducción

con rotor de jaula de ardilla, y por medio de inducción, - precisamente, es producido el par de arranque. Cuando se - ha llevado al rotor cerca de la velocidad de sincronismo, - se energiza éste conectándolo a la fuente de voltaje de -- c.d. y el motor se sincroniza con el campo giratorio. A es te motor se le dá el nombre de motor síncrono con arranque de inducción.

En resumen, podemos enumerar las ventajas y desventajas- en el empleo de los motores síncronos trifásicos. Entre -- sus ventajas están:

- a. Funcionamiento a velocidad constante.
- b. Se puede variar el factor de potencia del motor cam-- biando la excitación.
- c. Pueden funcionar con corriente en adelanto de fase y, por tanto, compensar las condiciones de bajo factor de potencia debido a otras cargas.

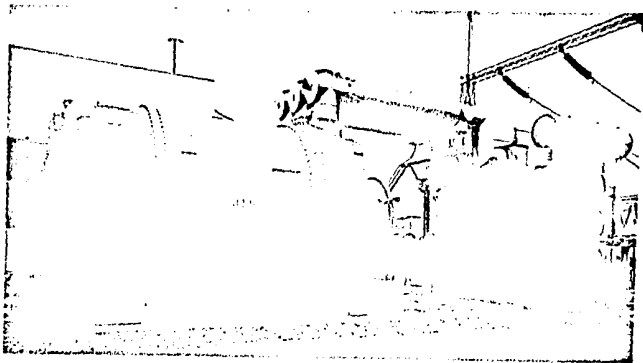
Entre sus desventajas podemos enumerar:

- a. Par de arranque muy bajo.
- b. Necesitan una fuente de c.d.
- c. Solo existen en tamaños medios y grandes.
- d. Pueden tener una cierta tendencia a perder el sincro- nismo y ahogarse por variaciones rápidas en la carga.

Los motores síncronos son empleados a menudo para mover- generadores de c.d., en ventiladores y compresores así co- mo en aquellos casos en que se requiere un par de arranque muy pequeño.

Cuando se utilizan transformadores y motores de induc--- ción, las corrientes tienden a atrasarse produciendo un -- factor de potencia en atraso. Como la compañía de luz y --

fuerza penaliza a los usuarios cuyo factor de potencia esté en atraso y por debajo de cierto valor, se emplean motores síncronos ajustados de manera que demanden potencia adelantada para ayudar a corregir el factor de potencia. -- Cuando son usados para ese fin, al motor se le dá el nombre de capacitor síncrono.



Motor síncrono utilizado para corregir el factor de potencia en una planta.

750 rpm

160,000 KVA

7.3.2 Motores polifásicos de inducción.

El motor de inducción recibe este nombre debido a que opera bajo el principio de inducción magnética, de la misma forma que el transformador. Como nunca llegan a trabajar a la velocidad de sincronismo, también son conocidos como motores asíncronos.

Los motores de inducción polifásicos pueden ser bifásicos y trifásicos, siendo estos últimos los más utilizados.

Un motor de inducción está constituido fundamentalmente por:

1. Estator.
2. Rotor.
3. Carcaza.

A continuación, analizaremos brevemente cada una de las partes mencionadas.

1. Estator.

El estator de los motores de inducción consiste en un núcleo hecho con láminas de acero al silicio, teniendo cada una de ellas un gran número de ranuras.

En las ranuras del estator se colocan las bobinas que producirán el campo magnético giratorio. En los motores de inducción, dichas bobinas pueden considerarse análogas al primario de un transformador.

2. Rotor.

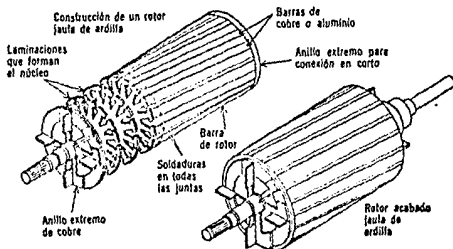
En los motores trifásicos de inducción, el rotor puede ser de dos tipos:

- a. Rotor jaula de ardilla.

b. Rotor devanado.

En el rotor jaula de ardilla, el bobinado está compuesto por barras que se vacían sobre un núcleo. Las barras, generalmente son de aluminio y al fundirse en el núcleo, debido a la forma que se les dá, quedan unidas entre sí en corto circuito.

El nombre de este rotor se debe a que el bobinado parece una jaula de ardilla rotatoria.



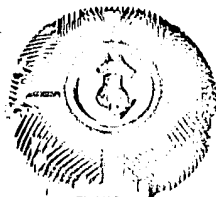
En el rotor devanado, el bobinado de jaula de ardilla es sustituido por otro formado por bobinas de muchas vueltas colocadas en las ranuras del núcleo. Estas bobinas están conectadas entre sí formando una conexión trifásica con sus tres cables de conexión conectados a tres anillos rotantes.

3. Carcaza.

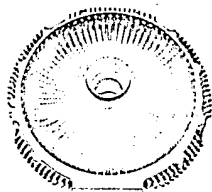
La carcaza es también llamada soporte del motor ya que es el elemento que contiene el estator y los elementos auxiliares del motor.

Entre los elementos auxiliares encontramos las tapas anterior y posterior, chumaceras, tornillos de sujeción, caja de conexiones y base.

TAPAS PARA CHUMACERA



Vista exterior



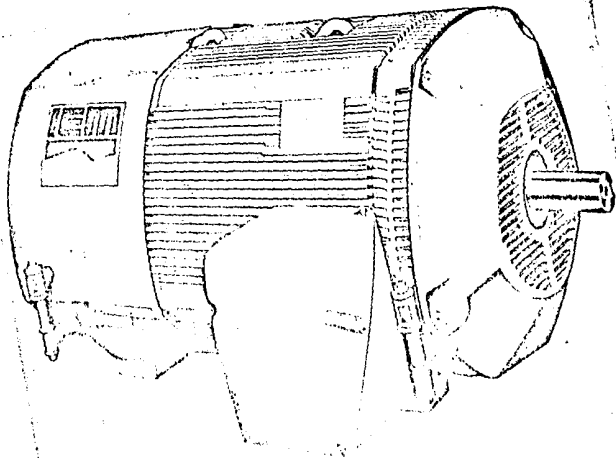
Vista interior

CAJA DE CONEXIONES

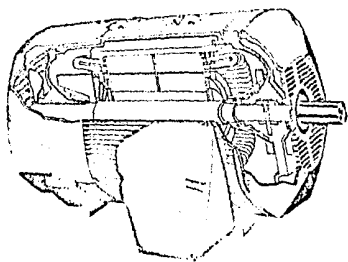


ARMAZON

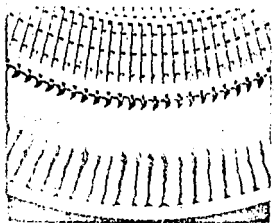




MOTOR DE INDUCCION DE ROTOR
JAULA DE ARDILLA

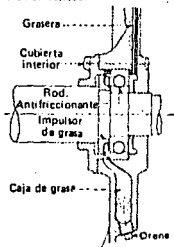


VISTA DE CORTE DEL MOTOR



DETALLE DEL ESTATOR

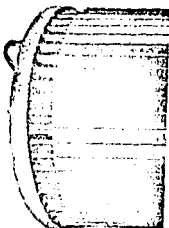
Rodamientos:



| | | | |
|--|---------|-----------------------------------|----------------|
| IEM | | MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA | |
| FACIAS 3 | POLOS 4 | TIPO | HICOTE CP. 400 |
| SERIE | 40 | CONEXION | DELTA |
| WATS | 440 | | |
| AMPERES | 442 | | |
| RPM | 1777 | | |
| VELOCIDAD | 100 | | |
| VELOCIDAD | 442 | | |
| VELOCIDAD | 4 | | |
| <p>LINEA</p> <p>STANDARD MOTOR PRODUCTS</p> <p>OPERATING 24 HOURS A DAY</p> | | | |
| TEMP. 40°C ± 2280 ± 1000 | | OPERA. A | OPERA. B |
| MODEL 6 EP | 6370/53 | MODELLO | TEMP. 130 °C |
| MODEL CP | 6370/53 | 12.1074 | TEMP. 1000002 |
| <p>INDUSTRIAS S.M. S. DE C. S. DE C.</p> <p>MEXICO</p> <p>TECNOLÓGICA Westinghouse</p> | | | |

DATOS DE PLACA DEL MOTOR

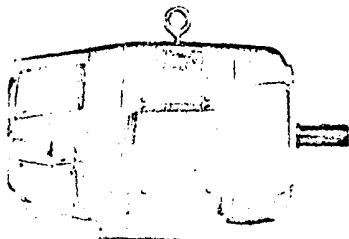
DETALLE DEL ROTOR



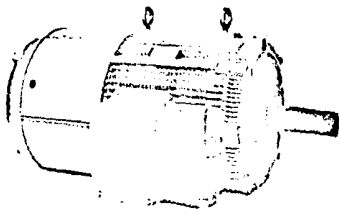
MOTORES DE INDUCCION DE ROTOR DEVANADO



MOTOR DE ROTOR DEVANADO A PRUEBA DE GOTEO (HAPGRD)
SERVICIO CONTINUO E INTERMITENTE
(30 ó 60 MINUTOS)
APLICACION: GRUAS, POLIPASTOS,
COMPRESORES Y MESAS DE TRANSFERENCIA
(OPERAN INTERIORMENTE EN AMBIENTES LIMPIOS)

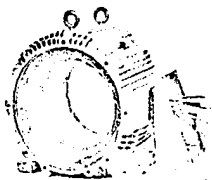


MOTOR DE ROTOR DEVANADO
TOTALMENTE CERRADO SIN
VENTILACION (HTCSVRO)
SERVICIO INTERMITENTE (30 ó 60
MINUTOS)
APLICACION: GRUAS, POLIPASTOS,
CARRROS DE GRUAS, EXCAVADORAS,
ASPIRADORAS, ETC.
(CUALQUIER AMBIENTE)



MOTORES DE ROTOR DEVANADO
TOTALMENTE CERRADO CON VENTILACION
EXTERIOR, SERVICIO CONTINUO (HTCCVRO)
APLICACION: VENTILADORES, QUEBRADORAS,
TRANSPORTADORES, COMPRESORES,
LAMINADORAS, HIDROPULPERS, MAQUINA
DE REFRIGERACION, CABLEADORAS, ETC.
(CUALQUIER AMBIENTE)

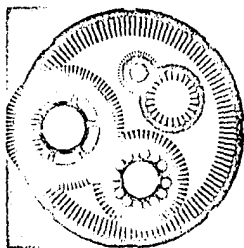
PARTES DE UN MOTOR DE INDUCCION DE ROTOR DEVANADO



ESTATOR



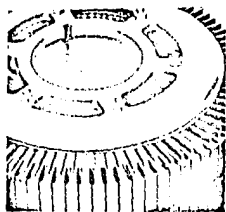
ROTOR



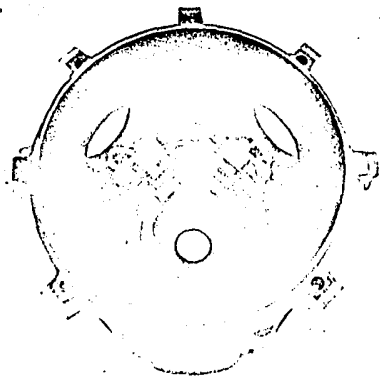
LAMINACIONES DEL ROTOR Y EL ESTATOR



CAJA DE CONEXIONES



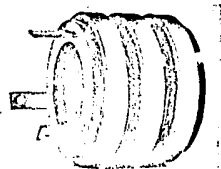
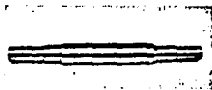
NUCLEO DEL ROTOR



TAPA Y PORTAESCOBILLAS



ESCOBILLAS



ANILLOS ROZANTES

En cuanto a su funcionamiento, éste es a base de inducción electromagnética. El estator y el rotor son similares a los devanados primario y secundario de un transformador. El campo magnético giratorio del estator induce corrientes elevadas en el rotor y éstas a su vez producen sus propios campos magnéticos que interactúan con el campo principal - para hacer girar al rotor. Debido a que el campo del rotor es intenso, el motor de inducción puede ponerse en marcha por sí solo y producir un par lo suficientemente grande.

En este motor, el estator es la única parte a la cual se aplica potencia. Cuando el rotor es devanado, los anillos-rozantes sirven para controlar de manera externa la resistencia de los devanados, y en consecuencia, la corriente - que fluye por ellos. Al hacer eso, puede mejorarse el par de arranque.

El deslizamiento se define como la diferencia entre la - velocidad de sincronismo N_s y la velocidad del rotor N_r . - Se expresa en forma de porcentaje por medio de la siguiente expresión:

$$\% S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

La velocidad de sincronismo N_s puede ser calculada a partir de:

$$N_s = \frac{120 f}{\# \text{ de polos}}$$

en donde f es la frecuencia expresada en hertz.

Por otra parte, la asociación nacional de fabricantes de equipo eléctrico (NEMA), con el fin de tener uniformidad en la aplicación, ha clasificado este tipo de motores de acuerdo a ciertas características presentadas por los mismos, y ha asignado letras a este tipo de motores. Las designaciones NEMA más comunes son:

Designaciones NEMA clase B

Este motor tiene las siguientes características: par de arranque normal y baja corriente de arranque. Este motor es el más usado de los del tipo jaula de ardilla, ya que tienen un par de arranque y un par a rotor bloqueado adecuados para el arranque de una gran variedad de máquinas industriales; además, toma una corriente aceptable a pleno voltaje.

Algunas de las aplicaciones generales de estos motores son: en máquinas herramientas, como son tornos, esmeriles, fresas, etc. Para accionar ventiladores, en sopladores para extracción de humos en chimeneas de tiro forzado, extracción de gases, etc. Para accionar bombas centrífugas, prensas, trituradores, molinos de baja carga, compresores de arranque sin carga, etc.

El deslizamiento a plena carga de estos motores varía entre 1.5 y 3%; los motores de más de 200 HP pueden tener deslizamientos menores del 1%.

Designación NEMA clase C

Este motor tiene un alto par de arranque y baja corriente de arranque. Es decir, que estos motores tienen un alto par a rotor bloqueado, baja corriente de arranque y relativamente un bajo deslizamiento a plena carga.

Algunas de las aplicaciones típicas son: en compresoras- de movimiento alternativo, elevadores, transportes de material, trituradores, pulverizadores, alimentadores al hogar de hornos, etc.

Estos motores se diseñan con un par a rotor bloqueado arriba de 200%; este par se requiere al par a plena carga, cuyo valor es menor al 195%. El deslizamiento a plena carga de estos motores varía de 1.5 a 3%.

Designación NEMA clase D

Las características de este tipo de motor son: alto par de arranque y alto deslizamiento. Usan rotor con alta resistencia y se emplean comúnmente con carga que tiene muchas pérdidas intermitentes de altas y bajas. Las máquinas impulsadoras para estos motores generalmente están provistas de un volante, que tiene una inercia considerable; en vacío, éstos operan con un deslizamiento muy pequeño que crece cuando se aplica la carga máxima considerablemente, permitiendo al sistema absorber la energía del volante. -- Cuando el motor opera con cargas no intermitentes entonces no es necesario el uso del volante.

Este tipo de motores se usa generalmente en punzadoras, bombas de movimiento alternativo, desmenuzadoras, etc.

7.4 MOTORES MONOFASICOS DE C.A.

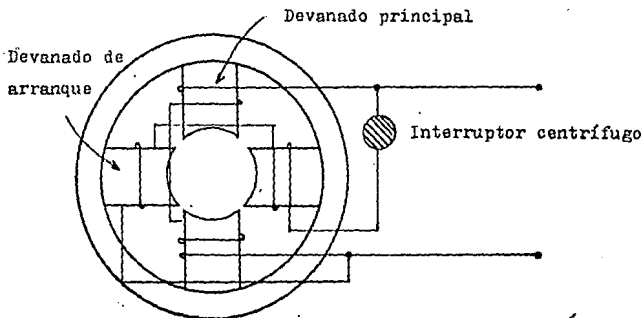
Los motores de c.a. alterna de potencia fraccionaria (menos de 1 hp), funcionan normalmente con alimentación monofásica. A continuación estudiaremos cada uno de ellos.

7.4.1 Motor de fase partida.

La asociación nacional de fabricantes de equipo eléctrico (NEMA), define al motor de fase partida de la siguiente manera; motor de inducción monofásico provisto de un devanado auxiliar desplazado magnéticamente respecto al devanado principal y conectado en paralelo con este último.

La división de fase se realiza con el fin de obtener dos fases para poder originar el campo magnético giratorio necesario para hacer girar el rotor.

Un medio de dividir la fase es mediante un devanado auxiliar llamado devanado de arranque, el cual está montado en el estator. Este devanado posee una alta resistencia y una baja reactancia inductiva, en tanto que el devanado principal tiene baja resistencia y una alta reactancia.



Al aplicar potencia, ambos devanados se energizan, pero debido a sus diferentes reactancias inductivas, por el devanado principal circula una corriente que está atrasada - con respecto a la que circula por el devanado de arranque, dando origen a una diferencia de fase entre las dos co--- rrientes. Esto origina un campo magnético giratorio en el estator que produce un par en el rotor poniendo en marcha al motor.

Una vez que el motor casi ha alcanzado su velocidad normal de funcionamiento, el rotor sigue las alternaciones -- del campo magnético originado por el devanado principal.

Para reducir al mínimo las pérdidas de energía, el devanado de arranque se desconecta del circuito mediante un -- dispositivo llamado interruptor centrífugo, debido a que - funciona por la fuerza centrífuga originada por la rota--- ción del rotor.

El rotor empleado en este tipo de motor es un rotor de - jaula de ardilla, el cual ya fue descrito.

Para cambiar el sentido de giro basta invertir la dirección de la corriente en cualesquiera de los dos devanados del estator. Si el motor tiene solamente dos cables exteriores de conexión, es necesario desmontar el motor y ha-- cer el cambio internamente.

Este motor cuya potencia no excede a 1 hp se emplea para accionar aparatos como lavadoras, quemadores de aceites pe sados, pequeñas bombas, etc.

7.4.2 Motor con capacitor.

Según las normas de la NEMA, el motor con capacitor está

definido de la manera siguiente: motor de inducción monofásico provisto de un devanado principal el cual puede ser - conectado directamente a una fuente de alimentación, y de un devanado auxiliar conectado en serie con un capacitor.- Los tres tipos de motores con capacitor son:

1. Motor con capacitor de arranque. Es un motor en el -- cual el capacitor y el devanado donde está conectado solo actúan durante el periodo de arranque.

2. Motor con capacitor permanente. Es un motor en el --- cual el capacitor está conectado permanentemente en el circuito, es decir, tanto durante el periodo de arranque como durante el de operación.

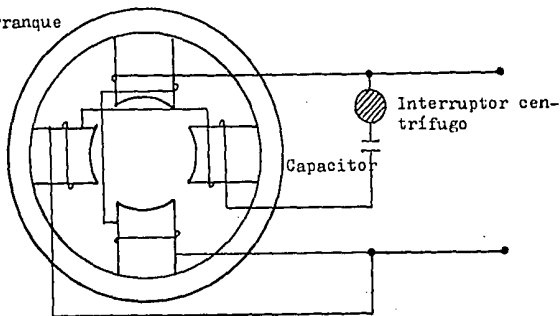
3. Motor con doble capacitor. Es un motor como el ante-- rior pero con la particularidad de que la capacitancia del circuito durante los periodos de arranque y servicio, respectivamente, no tienen el mismo valor.

El motor con capacitor es de construcción similar a la - del motor de fase partida y solo sifieren en que existe un capacitor conectado en serie con el devanado de arranque.- Los capacitores empleados tienen un valor entre los 25 y - 350 microfaradios y pueden ser electrolíticos o impregna-- dos de aceite.

En el motor con capacitor de arranque, el capacitor co-- nectado en serie al devanado auxiliar hace que la corriente de este circuito adelante en 45° al voltaje. Si la co-- rriente del devanado principal retrasa en 45° al voltaje a plicado, la diferencia de fase entre las dos corrientes es de aproximadamente 90° y el motor tendrá un campo girato-- rio similar al del motor bifásico.

Devanado de
arranque

Devanado principal



Un interruptor centrífugo conecta el devanado de arranque a la fuente de alimentación durante el periodo de arranque y lo desconecta de la fuente en forma automática a una velocidad determinada.

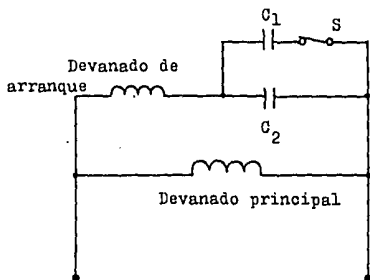
En el motor con capacitor permanente, el funcionamiento se lleva a cabo con ambos devanados, auxiliar y principal, lo cual elimina cierto tipo de pulsaciones haciendo la marcha del motor más suave y silenciosa. La velocidad de este tipo de motor puede ser controlada fácilmente ajustando el voltaje de alimentación.

La capacitancia requerida en estos motores es relativamente baja y el capacitor empleado es del tipo impregnado en aceite, el cual es relativamente caro.

En los motores de doble capacitor, el arranque siempre se realiza con un elevado valor de capacitancia, lo cual produce un par muy grande, indispensable en ciertas aplica

ciones.

Una vez alcanzada cierta velocidad, un interruptor centrífugo sustituye ese valor elevado de capacitancia por otro menor. Lo anterior se logra conectando dos capacitores en paralelo con el devanado auxiliar. Durante el periodo de arranque ambos actúan y la capacitancia es elevada, pero después uno de ellos es desconectado por el interruptor centrífugo disminuyendo de esa manera la capacitancia total conectada al devanado auxiliar.

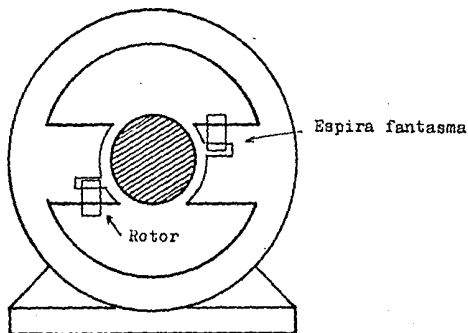


Los motores con capacitor se construyen para potencias - que oscilan entre 1/20 hp a 10 hp. Se emplean en el accionamiento de frigoríficos, compresores, quemadores de aceites pesados, lavadoras, bombas y acondicionadores de aire.

7.4.3 Motor de polo fantasma.

Los motores de polo fantasma, también llamados motores - de espira de sombra, son motores de inducción monofásicos - en los cuales la creación del campo magnético giratorio se

lleva a cabo dividiendo cada polo del estator en dos secciones, una de ellas rodeada de un conductor grueso conectado en corto circuito, que bien puede ser una espira anular de cobre conectada en corto, la cual recibe el nombre de espira fantasma.



Cuando se aplica potencia al estator, el campo magnético variable en la parte principal del polo induce un voltaje en la espira fantasma que actúa como el secundario de un transformador.

La corriente producida por este voltaje inducido origina un campo magnético propio que se opone al campo principal e interactúa con él para producir un campo giratorio resultante, que aunque distorsionado, es suficiente para que el motor funcione.

Si analizamos una parte del ciclo de la corriente de entrada por el devanado principal, obtenemos lo siguiente:



Ya obtenido el campo giratorio, un rotor de jaula de ar-
dilla completa el motor.

En la mayoría de los motores de polo fantasma, la inver-
sión de giro no está contemplada por lo que, para lograr-
la, hay que desarmar el motor y permutar los extremos del
estator y volver a armar.

La potencia de los motores de polo fantasma está compren-
dida entre $1/100$ y $1/20$ de hp. Su empleo se limita a apli-
caciones en donde se requiere un par de arranque muy redu-
cido como en ventiladores y sopladores.

7.4.4 Motor de reluctancia.

El motor de reluctancia es un motor síncrono monofásico-potencia fraccionaria que opera bajo el principio en el cual el flujo magnético seleccionará el camino de más baja reluctancia al completar su circuito.

En este tipo de motor se emplea un rotor de jaula de ardilla al cual se le hacen unas ranuras especiales. Estas ranuras sirven para devanar polos salientes de hierro dulce que corresponden al número de polos en el estator. Podemos decir que tal disposición es inversa a aquella en la cual a un rotor devanado se le añadían devanados de jaula de ardilla para que pudiera arrancar.

El motor de reluctancia se pone en marcha de manera similar a un motor de inducción de jaula de ardilla. Cuando se alcanza la velocidad de sincronismo, los polos de hierro dulce del rotor se deslizan cada vez menos. Llega un instante en que la diferencia relativa entre la velocidad del campo magnético giratorio y la del rotor es lo suficientemente baja para hacer que los polos del rotor sean magnetizados por los polos del estator. Entonces el rotor se une al campo que gira y dicho rotor tiende a funcionar como el de un motor síncrono a la velocidad de sincronismo.

7.4.5 Motor de histéresis.

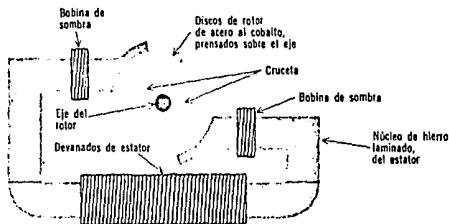
El motor de histéresis es un pequeño motor síncrono que utiliza el principio del magnetismo residual para conseguir el arranque por sí mismo y para funcionar a la velocidad de sincronismo.

El campo giratorio del estator puede ser logrado con los fantasmas o de la misma manera a como se obtiene en un

motor de capacitor.

El rotor de este tipo de motores se fabrica con materiales que poseen una buena retentividad magnética así como una alta permeabilidad.

El rotor se construye de varios discos planos, por lo regular, de acero al cobalto, los cuales se montan sobre un eje. El campo magnético giratorio producido por el estator induce una corriente en el rotor lo cual pone en marcha al motor como si éste fuera de inducción. Sin embargo, al ganar velocidad, ocurren pérdidas por histéresis relativamente elevadas en el rotor dando origen a un par mucho mayor que el que puede ser obtenido en un motor común.



La corriente inducida en el rotor hace que se produzcan polos magnéticos permanentes y debido a que el acero al cobalto es retentivo, los polos se mantienen por medio de los efectos del magnetismo residual. Los polos formados de

esa manera se fijan con el campo giratorio del estator y - el motor funciona como si fuera síncrono.

Con un estator de capacitor permanente, el motor de histéresis es el motor monofásico de más suave y silencioso - funcionamiento y su uso es obligado en los equipos de sonido de alta fidelidad como lo son los fonógrafos y las re--productoras de cintas magnetofónicas. También lo utilizan algunos relojes eléctricos.

7.4.6 Motor de repulsión.

El motor de repulsión puede ser clasificado en tres ti--pos distintos:

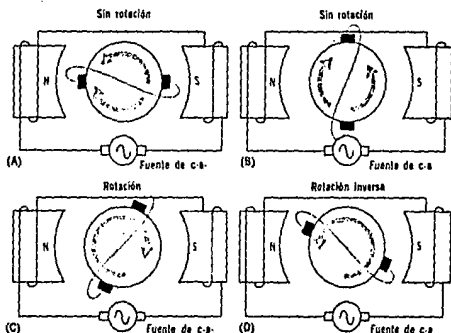
1. Motor de repulsión.
2. Motor de repulsión sólo en el arranque.
3. Motor de repulsión e inducción.

A continuación estudiaremos por separado cada uno de e--llos aunque el principio de operación es el mismo para to--dos.

1. Motor de repulsión.

Este motor está definido por la NEMA como: un motor monofásico provisto de un devanado en el estator destinado a - ser conectado a una red de alimentación, y de un devanado - en el rotor unido a un colector. Las escobillas que frotan sobre el colector están unidas en corto circuito y dispuestas de manera que el eje del campo magnético creado por el rotor esté inclinado respecto al eje del campo magnético - producido por el estator. Este tipo de motor tiene una ca--racterísticas de velocidad muy variable.

Para explicar el principio de repulsión magnética bajo - el cual opera este motor, tomaremos las siguientes ilustra- ciones en las cuales el rotor empleado es un rotor devana- do con escobillas en corto circuito.



En (a), al estar alineado el eje de las escobillas con - los polos, el estator induce corrientes iguales y opuestas en las dos mitades de los devanados del rotor, lo cual pro- duce un par neto igual a cero.

Al colocar el eje de las escobillas perpendicularmente a los polos, los voltajes inducidos en el rotor se neutrali- zan y al no circular corriente por el rotor el par es ce- ro.

Pero si colocamos las escobillas en cualquier posición intermedia a las anteriores, sí existe un voltaje inducido resultante y circulará corriente por el rotor, originando un campo que produce polos similares entre rotor y estator. Esto origina una fuerza de repulsión magnética que hace girar el motor en la dirección hacia donde se hayan desplazado las escobillas, tal y como se observa en (c) y (d).

Las características de este motor son muy parecidas a las del motor serie de c.d. Tiene un alto par de arranque y puede funcionar a velocidades relativamente altas bajo cargas ligeras, pudiendo desbocarse al operar sin carga.

La inversión del sentido de rotación de este motor se logra desplazando la posición de las escobillas al lado opuesto del plano neutro, ya que el motor siempre gira en la misma dirección en que se desplazan las escobillas con respecto al plano neutro.

2. Motor de repulsión sólo en el arranque.

Respecto a este motor la NEMA dice: es un motor monofásico provisto de los mismos devanados que uno de repulsión, pero en el cual, al alcanzarse una velocidad determinada, el devanado del rotor queda puesto en corto circuito o bien, conectado de forma que resulte equivalente a uno en jaula de ardilla. Este tipo arranca como motor de repulsión, pero una vez en régimen de servicio funciona como motor de inducción, es decir, con una característica de velocidad casi constante.

Como ya se mencionó, este motor arranca como un motor de repulsión, es decir, con las escobillas en corto circuito. Cuando el motor alcanza aproximadamente el 75% de su velocidad normal de funcionamiento, un mecanismo centrífugo po

ne en corto circuito todos los segmentos del conmutador al mismo tiempo, teniéndose entonces el equivalente a un rotor de jaula de ardilla y funcionando el motor como uno de inducción con todas las características inherentes al mismo.

En este tipo de motor, las escobillas pueden permanecer o no en contacto con los segmentos del colector. En el motor con escobillas separables, éstas se separan automáticamente del colector cuando éste se conecta en corto circuito por el mecanismo centrífugo. Esto evita que las escobillas se desgasten cuando el colector es cortocircuitado. En el de escobillas no separables, éstas permanecen siempre en contacto con el colector. El funcionamiento en ambos casos es idéntico.

3. Motor de repulsión e inducción.

Según la NEMA: es un motor monofásico cuyo rotor lleva, además del devanado propio de un motor de repulsión, otro de jaula de ardilla. Este tipo funciona simultáneamente como motor de repulsión y como motor de inducción, y su característica de velocidad puede ser variable o constante.

Estos motores no utilizan mecanismo centrífugo de puesta en corto circuito. El efecto de repulsión les confiere un elevado par de arranque y el efecto de inducción les permite mantener una velocidad constante. La inversión del sentido de giro se logra cambiando la posición de las escobillas con respecto al plano neutro como si el motor fuese de repulsión únicamente.

Los motores de este tipo se fabrican con potencias de -- hasta 10 hp y para dos voltajes de servicio. Encuentran aplicación general y es el más popular de los motores de re

pulsión debido a su característica de velocidad constante, la cual es comparable a los motores compound de c.d.

7.4.7 El motor universal.

En un motor serie de c.d., el sentido de giro no depende de la polaridad del voltaje aplicado y, por lo tanto, puede ser alimentado con c.a.

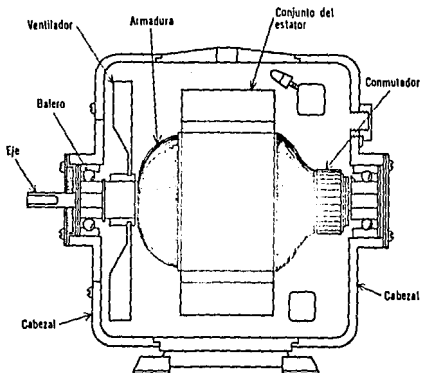
Al alimentar con c.a. un motor serie de c.d., existen, sin embargo, ciertas limitaciones como lo son un alto índice de pérdidas por corrientes parásitas e histéresis debidas al flujo magnético alterno. El factor de potencia es bajo debido a la autoinducción de los devanados de campo y de armadura así como también se produce un chisporroteo excesivo en el conmutador debido a la reacción de armadura.

Sin embargo, estos inconvenientes pueden ser superados laminando los polos de campo y el núcleo para reducir las corrientes parásitas y pérdidas por histéresis. Si se reduce la reactancia del devanado de campo usando pocas espiras, se corrige el factor de potencia. Si por último, utilizamos devanados compensadores en las piezas polares, la reactancia de armadura puede ser reducida.

Hecho lo anterior, el motor serie puede ser alimentado con c.a. y c.d. indistintamente. A un motor de este tipo se le conoce como motor universal.

El motor universal pues, funciona con c.a. o c.d. Se construyen con potencias inferiores a 1 hp. Si son operados en vacío existe el peligro de que se embalen y por este motivo forman siempre una sola unidad con el mecanismo o aparato que accionan.

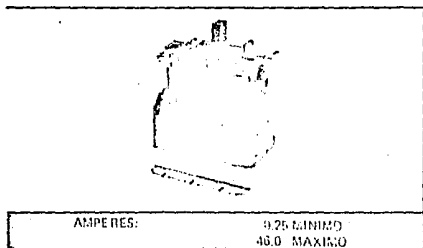
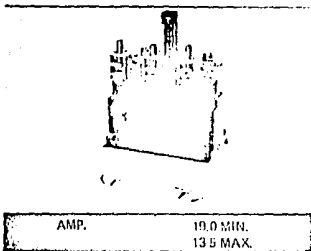
Son empleados para accionar aspiradoras de polvo, licuadoras, máquinas de coser, etc.



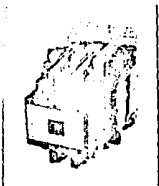
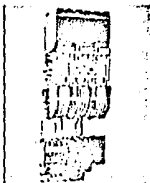
7.5 DISPOSITIVOS DE CONTROL.

Los dispositivos de control para los motores de c.a., -- son básicamente los mismos que para c.d., variando solo en detalles estructurales. En esta sección se mencionarán los dispositivos más comunes y se mostrarán algunos de éstos -- tal y como se encuentran comercialmente.

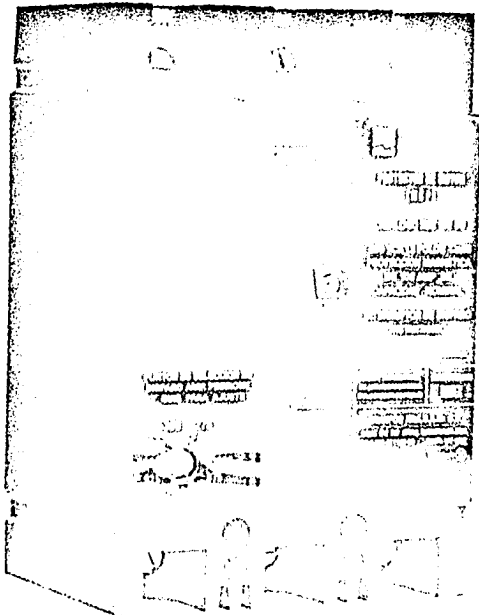
RELEVADORES DE SOBRECARGA



CONTACTORES

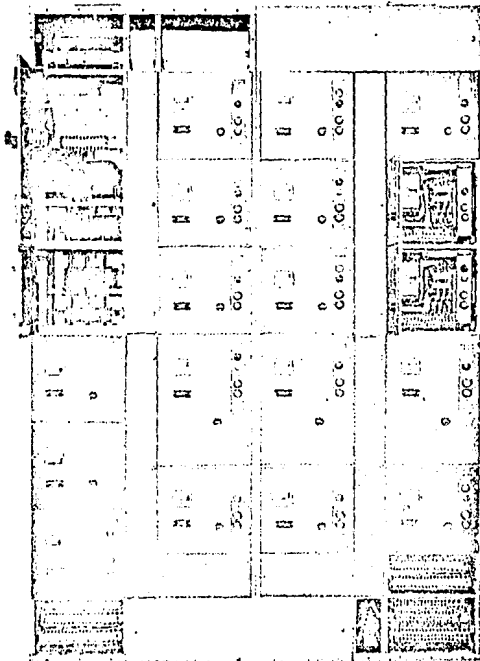


PROTECTOR PARA MOTOR

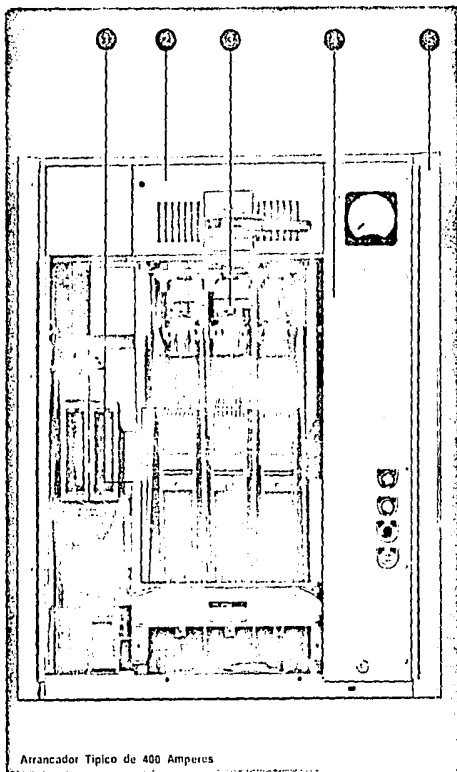


| VOLTS | CAPACIDAD INTERRUPTIVA |
|-------|------------------------|
| 220 | 25,000 |
| 440 | 22,000 |
| 600 | 22,000 |

CENTRO DE CONTROL PARA MOTORES
MARCA IEM



ARRANCADOR MARCA IEM PARA MOTORES DE ALTA TENSION



HASTA 3,000 HP

2,200-5,000 VOLTS 60 HERTZ

- 1 Contactor en aire tipo LF
- 2 Switch de aislamiento tipo LFM
- 3 Fusibles limitadores de corriente
- 4 Compartimento de control en baja tensión
- 5 Gabinete

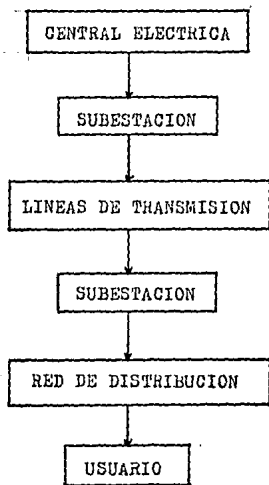
CAPITULO 8

**PRINCIPIOS DE LA GENERACION Y DISTRIBUCION
DE LA ENERGIA ELECTRICA**

8.1 INTRODUCCION.

Vivimos en una época en la cual la energía eléctrica mueve casi en forma literal a nuestro mundo. El consumo de la misma alcanza valores nunca antes imaginados y por consecuencia lógica, la producción del llamado fluido eléctrico es de capital importancia.

En el presente capítulo estudiaremos la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica. El diagrama mostrado a continuación nos muestra en forma general el proceso antes mencionado.



8.2 CENTRALES ELECTRICAS.

El proceso que estamos estudiando, como lo muestra el -- diagrama, tiene su nacimiento en las llamadas centrales e-- léctricas, también conocidas como plantas generadoras.

Una centra eléctrica es el sitio en el cual tiene lugar-- una transformación de energía de alguna de las formas exis-- tentes, en energía eléctrica.

Partiendo del principio de la conservación de la energía resulta obvio que tiene que existir un proceso de transfor-- mación de un tipo de energía en otro. El decir planta gene-- radora, es solo una forma de llamar a las centrales eléc-- tricas, y el término generar nos indica solamente la trans-- formación de alguna forma de energía en energía eléctrica, la cual se lleva a cabo tomando en cuenta las fuentes de e-- nergía existentes, o en su defecto, está basada en función de la fuente energética disponible más bararta.

Podemos clasificar las fuentes de energía de la siguien-- te manera:

- a. Combustibles.
- b. Corrientes de agua.
- c. Mareas oceánicas y olas.
- d. Vientos.
- e. Rayos solares.
- f. Calor terrestre.
- g. Núcleos atómicos.

Las centrales eléctricas por su parte, están clasifica-- das de acuerdo a la fuente de energía utilizada, y pueden-- ser:

1. Heliotérmicas.
2. Eólicas.
3. Nucleares.
4. Hidroeléctricas.
5. Termoeléctricas.

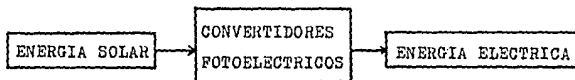
8.2.1 Centrales Heliotérmicas.

Las centrales de este tipo utilizan como fuente de energía la radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra.

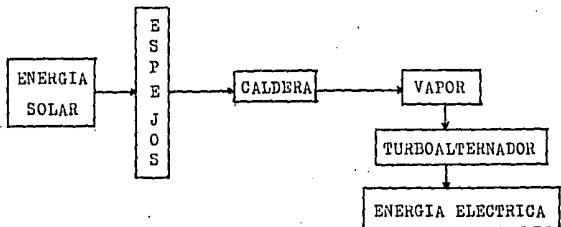
Según estudios realizados y basándose en valores promedio, la intensidad de la radiación solar captada por la tierra es de 1.36 kilovatio por metro cuadrado. Parte de la energía es absorbida por la atmósfera, con lo cual, el valor en la superficie de la tierra con el sol en el punto más alto llega a ser de 1 kilovatio por metro cuadrado.

Las centrales de este tipo existentes en la actualidad realizan la conversión de energía solar en eléctrica utilizando dos procedimientos diferentes.

Una de las formas de realizar la conversión es mediante el uso de unos dispositivos llamados convertidores fotoeléctricos, los cuales están hechos de material semiconductor y realizan la conversión directamente cuando sobre ellos incide la luz solar. A dichos dispositivos se les conoce también como celdas solares, fotoceldas o celdas fotovoltaicas.



La otra forma consiste en concentrar los rayos solares -- mediante el uso de enormes espejos sobre una caldera, la -- cual producirá vapor con el que se moverá un conjunto de -- turbina aclopada con un alternador y que se conoce como -- turboalternador.



El empleo de este tipo de central es muy restringido debido a que la potencia generada es demasiado baja y el costo de los dispositivos empleados es muy elevado, al grado que, por incósteables, las centrales actualmente instaladas son puramente experimentales. El factor que propicia la desventaja antes mencionada es lo difuso con que la energía solar llega a la superficie de la tierra, lo cual implica la necesidad de un área de recolección demasiado grande para poder generar cantidades elevadas de energía. Para una central que genere un promedio de 1,000 megavatios, el área de recolección requerida sería entre los 20- y los 100 kilómetros cuadrados.

8.2.2 Centrales Eólicas.

La energía de los vientos es un tipo de energía empleada para generar energía eléctrica, y las centrales encargadas de esta generación reciben el nombre de centrales eólicas.

En un viento de densidad p , velocidad v , y que atraviesa un área de referencia A , el flujo de energía cinética es

$$\text{Flujo de energía cinética} = \frac{p A v^3}{2}$$

Si toda esta energía es aprovechada por una turbina de viento, la potencia instantánea es

$$\text{Potencia instantánea (Kw)} = 0.0006 A v^3$$

en donde A es el área en m^2 de las aspas de la turbina, y v la velocidad del viento en m/seg , tomando la densidad atmosférica normal.

Lo anterior nos sirve para observar que la generación de energía eléctrica depende del cubo de la velocidad y del tamaño de las aspas de la turbina empleada.

La turbina de viento tiene la forma de los conocidos molinos de viento, y está acoplada mecánicamente con un generador eléctrico. A ese conjunto se le dá el nombre de aerogenerador. El diagrama mostrado a continuación nos muestra el proceso llevado a cabo en una central eólica.



Las potencias máximas generadas con este tipo de centrales varía de 1 a 2 megavatios y eso solo es posible cuando la velocidad del viento excede las 20 millas por hora.

Estas centrales son muy comúnmente usadas en localidades muy alejadas o inaccesibles para las cuales las líneas de transmisión no llegan y es necesario solo pequeñas cantidades de energía.

Entre las desventajas que afrontan este tipo de centrales tenemos las siguientes:

a. La velocidad del viento es muy variable y eso implica problemas de índole técnico en la generación.

b. Al depender la potencia generada del cubo de la velocidad, este tipo de centrales deben estar ubicadas únicamente en lugares en donde los vientos sean muy fuertes.

c. Al ser el área de las aspas proporcional a la potencia generada, es fácil imaginarse que al construir éstas lo más grande posible, se obtendrá un mayor aprovechamiento, mas sin embargo, eso provocaría un aumento en la fricción del mecanismo y las pérdidas en el proceso se verían aumentadas.

Por lo anterior y por el factor costo, este tipo de centrales no es utilizada en la generación a gran escala de energía eléctrica.

8.2.3 Centrales Nucleares.

Las centrales nucleares, llamadas también nucleoelectricas, fundamentan su funcionamiento en la fisión nuclear.

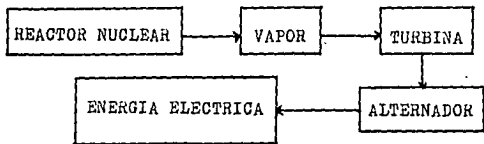
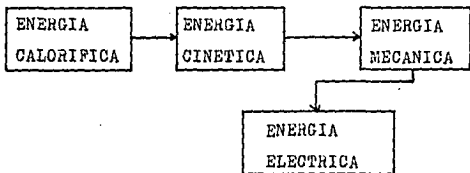
La fisión nuclear es la desintegración de un núcleo de un material radioactivo provocada bajo ciertas condicio---

nes. Los materiales usados más comúnmente son el uranio y el plutonio. La desintegración del núcleo se hace por medio de neutrones, lo cual provoca una reacción en cadena -- muy violenta, como la ocurrida al estallar una bomba, pero que es posible controlar mediante un proceso llevado a cabo en los reactores nucleares.

El ciclo de transformación es el siguiente:

La fisión nuclear libera cantidades muy grandes de energía calorífica. El calor producido se utiliza para vaporizar agua. El vapor formado es enviado a una turbina, la -- cual hace funcionar un alternador que produce finalmente -- la energía eléctrica.

Los diagramas mostrados a continuación ilustran los intercambios energéticos llevados a cabo y el proceso general del funcionamiento de una central nuclear.



Un reactor viene a ser un dispositivo mediante el cual - se puede disponer de la energía liberada en las fisiones - nucleares a un ritmo controlado.

El vapor que alimenta la turbina puede ser producido, ya sea directamente dentro del reactor o mediante el intermedio de un intercambiador de calor, pero en ambos casos, el vapor después de entrar a la turbina, pasa por un condensador donde se enfría en contacto con los tubos dentro de los cuales pasa el agua de enfriamiento que se toma del mar, un río, o bien, en algunos casos, de los acuíferos -- subterráneos. El circuito por donde fluye el vapor es un - circuito cerrado, completamente independiente del circuito de enfriamiento del mar, río o pozos.

Existen actualmente, diferentes tipos de reactores, algunos de los cuales están en operación comercialmente y otros en forma experimental. Los tipos de reactores se diferencian por los distintos componentes básicos que utilizan, y se clasifican así:

- a. Reactores de grafito-gas.
- b. Reactores de agua ligera.
- c. Reactores de agua pesada.
- d. Reactores de alta temperatura.
- e. Reactores rápidos de cría.

La ventaja principal de las centrales nucleares en los sitios desprovistos de combustible de combustibles naturales y de saltos de agua, reside en el escaso volumen de material radioactivo que consumen, pues cada carga puede durar varios años. Además, ciertos reactores producen, por exposición, más material radioactivo que el que consumen.

Ahora bien, entre las desventajas presentadas por este tipo de centrales está la contaminación del medio ambiente con los desechos radioactivos que se producen en ellas. Existe también el peligro latente de una falla tal que pueda hacer que la central estalle, ya que es como tener una bomba atómica disponible en cualquier momento, aunque las medidas de seguridad para evitar accidentes de este tipo son muy grandes.

También el personal que labore en este tipo de centrales corre el riesgo de daños irreversible, ya que está comprobado que la exposición a la radioactividad es causante de cánceres y leucemias, así como de mutaciones genéticas y aunque se cuente con equipo de protección, el riesgo sigue siendo muy grande.

Se piensa que las centrales nucleares serán la solución del futuro si es que los combustibles encontrados en la naturaleza llegasen a faltar.

8.2.4 Centrales Hidroeléctricas.

Una de las centrales más empleadas en la actualidad para la generación de electricidad son las llamadas hidroeléctricas, que como su nombre lo indica, aprovecha la energía existente en el agua de los ríos y a partir de ella se obtiene energía eléctrica.

El ciclo tiene su inicio cuando el sol calienta la superficie terrestre, y dicho calentamiento produce la evaporación, y por consiguiente, la formación de nubes. En ese instante, el agua ha ganado energía potencial. Con la lluvia, dicha energía potencial se transforma en cinética, de la cual la mayoría no es aprovechada. Sin embargo, una par

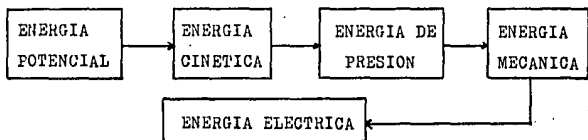
te de esa agua cae en montañas y en sitios muy elevados, dando lugar con ello a la formación de ríos.

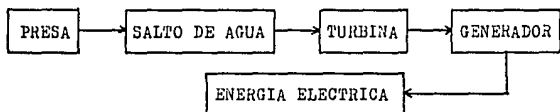
Esa energía cinética del agua se puede transformar en energía de presión, la cual es transformada en mecánica y posteriormente en eléctrica. Podemos, en general, aprovechar esa fuente de energía de dos maneras casi similares.

La primera y más simple, consiste en crear un pequeño remanso, y por medio de una tubería, llevar el agua montaña-abajo. Al final de la tubería, la energía de presión del agua es transformada al dejarla en libertad para que mueva los álabes de una turbina de agua del tipo Pelton, la cual es acoplada a un generador para finalmente proporcionarnos energía eléctrica.

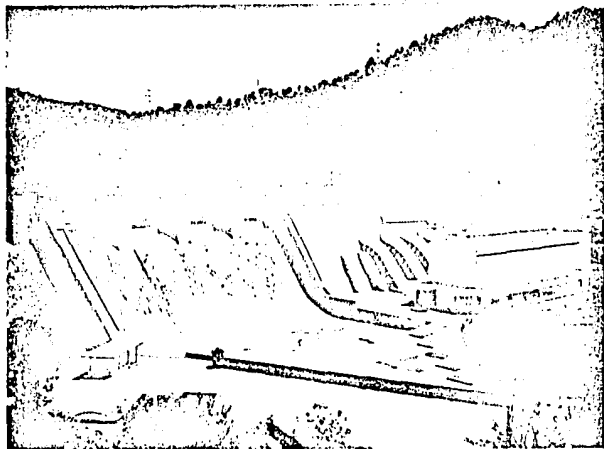
La segunda forma y sin duda la más utilizada implica la construcción y empleo de una presa, la cual sirve para detener el agua y formar un embalse. Entre la cortina de la presa y el río aguas abajo, se crea una altura de salto -- que permite establecer un ducto de descarga e instalar una turbina, que en este caso y dependiendo de la altura del salto y del caudal de agua disponible, bien puede ser tipo Francis o tipo Kaplan. Cualesquiera que sea la turbina utilizada, ésta se acopla a un generador, el cual nos entregará finalmente energía eléctrica.

A continuación se muestran los diagramas de bloques de los intercambios energéticos y dispositivos de una central de este tipo.





La potencia neta aprovechada por el grupo de la turbina y el generador, depende directamente de la cantidad de agua por segundo que entra a los álabes, y la altura del salto de agua.



Cabe hacer notar que las presas construidas en los ríos contribuyen al desarrollo ecológico de la región en que se encuentran, ya que sirven también para alimentar sistemas de riego, por ejemplo.

Aunque la cantidad de agua que vierten al mar todos los ríos del mundo se calcula en aproximadamente 4,000 kilómetros cúbicos, en algunas regiones a veces es muy limitada la cantidad de agua almacenada en los enbalses, constituyendo lo anterior una limitación de este tipo de centrales.

Las instalaciones de una hidroeléctrica son de un costo mucho mayor que las de una termoeléctrica, porque implica la construcción de gigantescas presas, mas sin embargo, -- los costos de operación son reducidos ya que no hay gasto de combustible.

Son también ventajas de este tipo de centrales el no contaminar el ambiente, porque al no existir consumo de combustible, se evita dicha contaminación, así como las descargas de agua caliente que existen al producirse vapor.

El funcionamiento de estas centrales puede ser en forma continua o bien alternada, dependiendo de la demanda, ya que su facilidad de puesta en servicio lo permite.

Por último, podemos hacer notar también que las turbinas hidráulicas son de larga duración, lo que garantiza un costo de mantenimiento reducido.

Son pues, las centrales hidroeléctricas, la forma más limpia de producir electricidad.

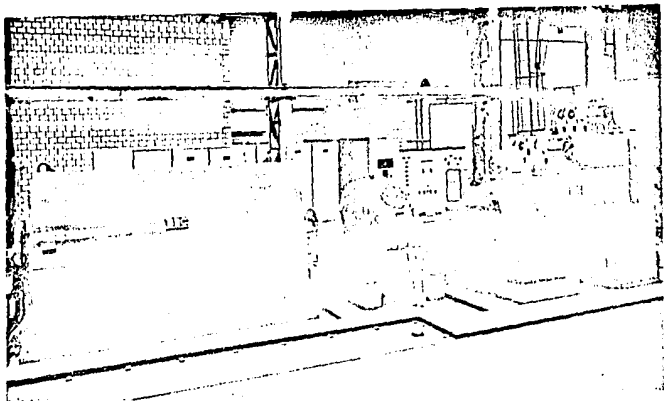
8.2.5 Centrales Termoeléctricas.

Estudiaremos, para finalizar, las centrales termoeléctricas, que, junto con las hidroeléctricas, son las más utilizadas en el mundo para la producción de electricidad.

En una central termoeléctrica se aprovecha la energía po

tencial latente de ciertas sustancias llamadas combusti---bles, las cuales poseen suficiente carbón e hidrógeno para producir, por su oxidación química, cantidades importantes de calor, el cual es utilizado de manera similar al producido en la fisión nuclear llevada a cabo en las centrales nucleares.

El calor, pues, es utilizado para producir vapor de agua el cual es enviado por medio de tuberías a una o varias --turbinas, las cuales están acopladas a generadores eléctricos.



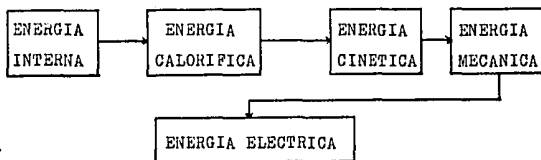
El tipo de combustible empleado en una central de este tipo, depende de factores económicos y ecológicos. Los más utilizados son el carbón de piedra, el gas natural, el petróleo y sus derivados.

La combustión de dichas sustancias tiene lugar en calde-

ras, en cuyo hogar el calor desprendido por los combusti--bles es aprovechado para producir vapor a más de 500°C, el cual, al expandirse entre los álabes de las turbinas produce el movimiento de éstas.

El agua utilizada para la producción del vapor debe ser agua desmineralizada, ya que de lo contrario, las sales -- que contiene el agua normal taponarían materialmente los - ductos del vapor al adherirse a ellos, produciendo daños - considerables en la tubería.

A continuación se muestra el diagrama de bloques de los intercambios energéticos llevados a cabo en una termoeléctrica.



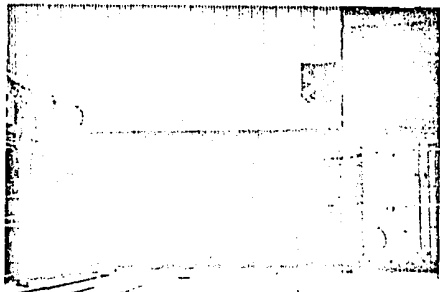
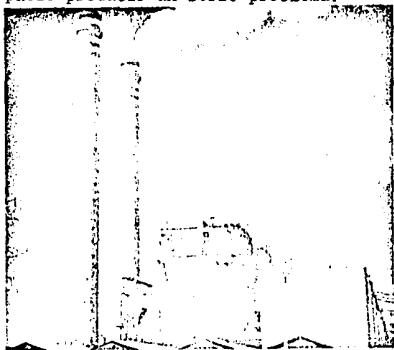
Las ventajas presentadas por este tipo de centrales es--triban, principalmente, en el bajo costo de instalación -- comparado con una hidroeléctrica o nuclear. Puede, si es - que se cuenta con reservas de combustible, instalarse en - el lugar mismo de la extracción, evitando con esto gastos--originados por el transporte del mismo.

La potencia generada por este tipo de centrales puede -- ser igual o mayor que la obtenida en las hidroeléctricas, - dependiendo esto del número de generadores con que cuente--

la planta en particular.

Sin embargo, el gasto continuo del combustible puede agotar las reservas del mismo, o en su defecto, si es necesario comprarlo, se está dependiendo de factores externos como lo es la constante alza en el precio del combustible, - si ese es un derivado del petróleo.

Desde el punto de vista ecológico, la contaminación del medio ambiente debida al humo desprendido en la combustión efectuada en las calderas es un factor que, a la larga, -- puede producir un serio problema.



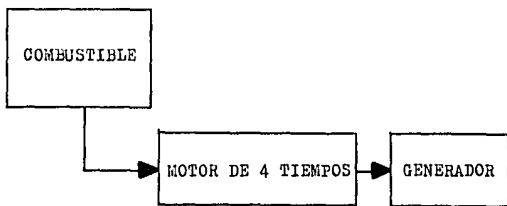
Por último, cabe hacer mención a cierto tipo de plantas de pequeño tamaño y poca potencia, las cuales funcionan a base de un motor de combustión interna alimentado con diesel, el cual transmite su movimiento a un generador acoplado a él.

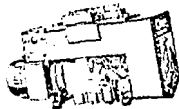
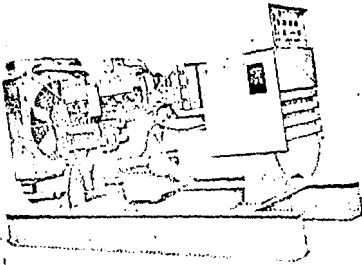
El uso de este tipo de plantas es muy usual en casos de emergencia, en sitios en los cuales es indispensable una alimentación constante de energía eléctrica, tales como hospitales, cines, etc.

Dichas plantas cuentan con un arrancador automático, el cual las pone a funcionar cuando el suministro de energía proveniente de las centrales generadoras es interrumpido, y las apaga cuando se restablece.

El tipo de motor usado en estas plantas es el de cuatro-tiempos, de funcionamiento similar al usado en autos y camiones, y el diesel como combustible debido a su bajo precio.

A continuación se muestra un esquema de una planta de este tipo y varios tipos de estas plantas.





8.3 SUBESTACIONES.

En el proceso de la generación y distribución de la energía eléctrica, uno de los papeles más importantes lo desempeña, sin duda, la subestación.

Por razones técnicas relativas al equipo empleado, los voltajes de generación en las centrales estudiadas anteriormente, son relativamente bajos en comparación con los voltajes empleados en la transmisión. Si la energía eléctrica fuera transmitida al voltaje de generación, para grandes distancias, las pérdidas ocurridas en la línea harían antieconómico el transporte. Nos vemos, entonces, en la necesidad de utilizar valores más elevados de voltaje para la transmisión de dicha energía.

Para ejemplificar lo anterior, tomemos el caso real de una central generadora que se encuentra a 800 km del centro de consumo. Si el voltaje de generación es de 6,600 voltios y lo quisiéramos elevar al voltaje de transmisión de 230 KV, tendríamos que utilizar una subestación a la salida de la central. Si suponemos que las pérdidas son mínimas en el transporte, o sea, que la caída de voltaje en la línea es casi cero, en el centro de consumo tendremos los 230 KV. Como es natural, este voltaje no lo podemos aplicar en las industrias, comercios, etc., por lo cual es necesaria otra subestación a la entrada del centro de consumo para reducirlo a un valor que facilite su distribución. Ese valor puede ser 13.2 KV, con lo cual se suministra la energía eléctrica a las industrias en donde existen pequeñas subestaciones, a veces las más simples, para obtener los valores de voltaje necesarios para su operación. En la red de distribución urbana, son empleadas pequeñas subesta

ciones montadas sobre postes, para poder reducir el voltaje de los 13.2 KV a los 110 y 220 voltios usados en los hogares y comercios.

Los diversos valores de voltaje existentes en el proceso que estudiamos, pueden ser clasificados de la manera siguiente:

a. Voltaje de baja tensión. Son todos los voltajes menores de 750 voltios.

b. Voltaje de alta tensión. Son aquellos mayores de 750 voltios.

c. Voltaje de generación. Son aquellos valores generados en las centrales por las compañías suministradoras de energía eléctrica (C.F.E. y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro), los cuales pueden ser 4,160, 6,600, 13,800 ó 14,200 voltios.

d. Voltaje de transmisión. Estos voltajes son los que se utilizan para transportar la energía de las plantas generadoras a los centros de consumo (pueblos, ciudades, complejos industriales, etc.), pueden ser 69, 115, 161, 230 ó 400 KV.

e. Voltaje de distribución. Son los que parten de las subestaciones receptoras a las zonas de utilización, como lo son las industrias, fraccionamientos, comercios, sistemas de alumbrado, de bombeo, etc., siendo los más comunes 13.2, 23 y 33 KV.

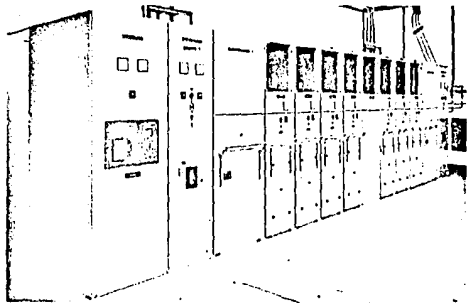
f. Voltajes de consumo. Estos son los que se utilizan en motores, hornos industriales, alumbrado, etc., siendo 110, 220 y 440 voltios los más empleados, aunque actualmente en las industrias mayores se usan 2,400 y 4,160 voltios.

8.3.1 Definición y tipos de subestaciones.

Podemos definir una subestación como un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de la energía eléctrica (voltaje, corriente, ---- etc.), o bien conservarla dentro de ciertas características.

Las subestaciones eléctricas se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Por la función que desempeñan:
 - a. Elevadoras (elevan el voltaje).
 - b. Reductoras (reducen el voltaje).
 - c. De enlace (para interconectar líneas).
 - d. Rectificadoras (convierten c.a. en c.d.).
2. Por su construcción:
 - a. Tipo intemperie (para operación exterior).
 - b. Tipo interior (para operar bajo techo).
 - c. Tipo blindado (para operación en interiores y exteriores).



8.3.2 Elementos de una subestación.

Existen ciertos componentes o dispositivos presentes en la mayoría de las subestaciones existentes. Dichos elementos son los siguientes:

1. Transformadores.
2. Interruptores de potencia.
3. Restauradores.
4. Cortacircuitos fusible.
5. Cuchillas desconectadoras y cuchillas de prueba.
6. Apartarrayos.
7. Barras colectoras.
8. Transformadores de instrumento.
9. Reguladores de voltaje.
10. Capacitores de potencia.
11. Tableros de control.

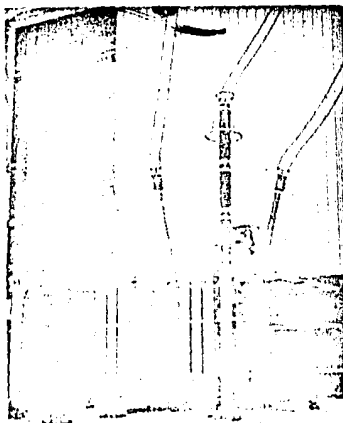
A continuación, se hará una descripción general de los elementos enumerados anteriormente.

1. Transformadores.

El elemento más importante de una subestación es el transformador, el cual, como se recordará, es un dispositivo que transfiere energía de un circuito a otro manteniendo constante la frecuencia y en la mayoría de los casos, alterando el valor del voltaje. En las subestaciones es usado para elevar o reducir el voltaje de generación, transmisión o distribución.

Dependiendo de la capacidad de la subestación, el tipo de transformador o transformadores empleados puede ser de potencia o de distribución. El tamaño, tipo de enfriamiento

to y demás características físicas son marcadamente diferentes entre ambos.



En las subestaciones pueden existir dos o más transformadores interconectados en caso de ser necesario. Dicha conexión puede ser en paralelo para transformadores trifásicos, o bien, se pueden formar bancos trifásicos con transformadores monofásicos.

No hablaremos en estos momentos de las características estructurales, funcionamiento o conexión de los transformadores, ya que eso fue estudiado con detalle en capítulos anteriores. Haremos mención, únicamente, a cuatro aspectos que es necesario controlar en los transformadores para su mejor y más seguro funcionamiento. Estos aspectos son la temperatura y presión del transformador así como el nivel-

del aceite y la rigidez dieléctrica del mismo.

La temperatura en los transformadores es leída por medio de termómetros de mercurio o con termopares colocados dentro del transformador y que alimentan un mecanismo de medición calibrado en grados centígrados. Para controlar dicha temperatura se emplea el método de imagen térmica o también se realiza mediante un dispositivo llamado relevador-Buchholz. En ambos métodos, cuando la temperatura interna del transformador alcanza valores muy elevados que lo ponen en peligro, se dispara un interruptor que pone fuera de servicio el transformador.

La presión de los transformadores se controla mediante manómetros, los cuales pueden estar accionando automáticamente.

El nivel de aceite es controlado por unos dispositivos llamados indicadores de nivel, los cuales también pueden estar funcionando automáticamente.

La rigidez dieléctrica del aceite nos indica el grado de aislamiento que posee dicho aceite y que puede perderse con el uso. Se controla con la toma de muestras hechas en forma periódica al transformador mediante una válvula colocada para ese propósito.

2. Interruptores de potencia.

Los interruptores, en general, son dispositivos contruídos para cerrar o abrir circuitos eléctricos en condiciones normales o anormales. Los interruptores, cuando abren un circuito, deben siempre asegurar el aislamiento del mismo.

De acuerdo al tipo de apertura, los interruptores se dividen en:

A. Interruptores de potencia.

B. Cuchillas desconectadoras o seccionadores.

Los interruptores de potencia, de los cuales nos ocuparemos en esta sección, son conocidos también con el nombre de disyuntores.

La función de un interruptor de potencia es interrumpir y restablecer la continuidad de un circuito eléctrico. La interrupción debe ser efectuada con carga o corriente de corto circuito.

Se construyen de dos tipos generales:

a. Interruptores de aceite.

b. Interruptores neumáticos.

Antes de explicar el funcionamiento y la construcción de estos interruptores, hablaremos acerca de la función que desempeñan en un circuito eléctrico.

A las condiciones de operación que puede darnos un interruptor, se le conoce como prestaciones del interruptor y deben ser proporcionadas en los datos del fabricante para que bajo estas circunstancias se diseñen los sistemas en los cuales intervengan.

La más importante, es la corriente de corto circuito, ya que es la que somete al interruptor a las más severas condiciones de operación, aunque también el cierre de un interruptor sobre una falla existente lo llega a hacer, ya que se forma un arco antes de cerrarse los contactos originándose una fuerza electromagnética que hace que los contactos no lleguen a cerrarse, debido al esfuerzo que se ha producido.

Otra condición que afecta la operación son los reengan-

ches a que es sometido el interruptor y que también originan arcos.

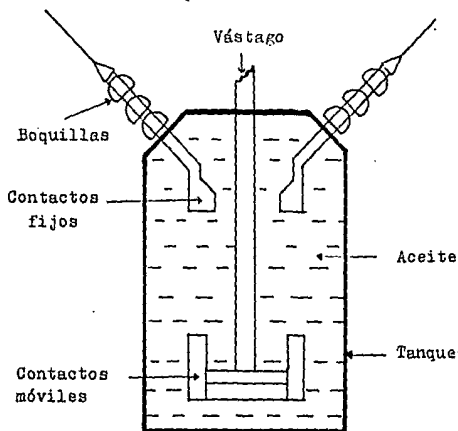
Un reenganche es el cierre de un interruptor después de una falla. El tiempo transcurrido entre la apertura y el cierre debe ser lo más corto posible para evitar la pérdida del sincronismo en los sistemas que operen generadores en paralelo. Se conoce con el nombre de tiempo muerto al lapso que permanece abierto un interruptor después de una falla.

Existen tres tipos de interruptores de aceite, los cuales describiremos enseguida.

a.1 Interruptores de gran volumen de aceite.

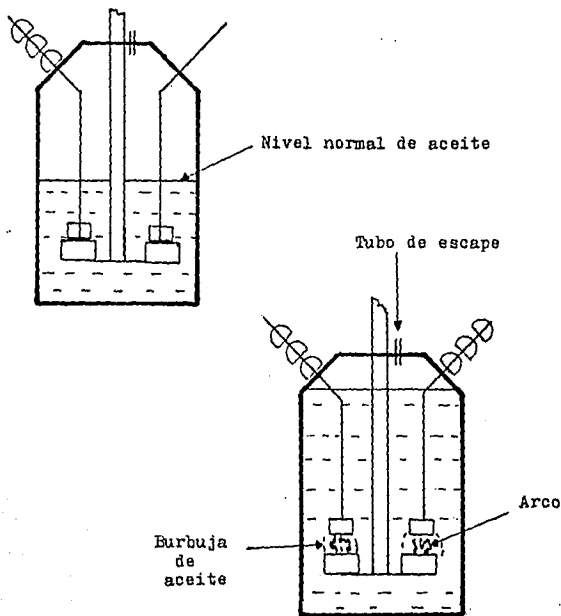
Este tipo de interruptor recibe el nombre debido a la gran cantidad de aceite que se encontrará en su interior.

En la siguiente ilustración se muestran las partes principales de estos interruptores.



Cuando ocurre una falla, los contactos móviles se desplazan hacia abajo separándose de los contactos fijos e interrumpiendo de esa manera el circuito. El arco producido entre los contactos depende de su distancia de separación. - Dicho arco provoca la producción de gases alrededor de los contactos, lo cual hace que cierta cantidad de aceite sea desplazada. La presión ejercida por el aceite sobre el tanque llega a ser considerable y es necesario instalar un tubo de fuga de gases en la parte superior del tanque.

A continuación se ilustra el proceso de interrupción en el momento de ocurrir una falla en el circuito.

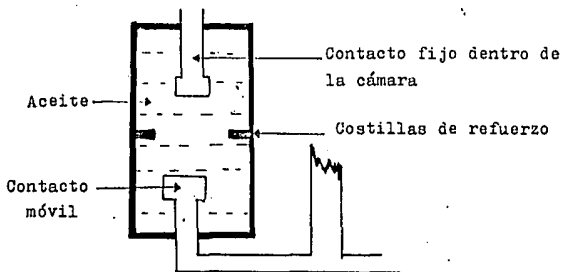


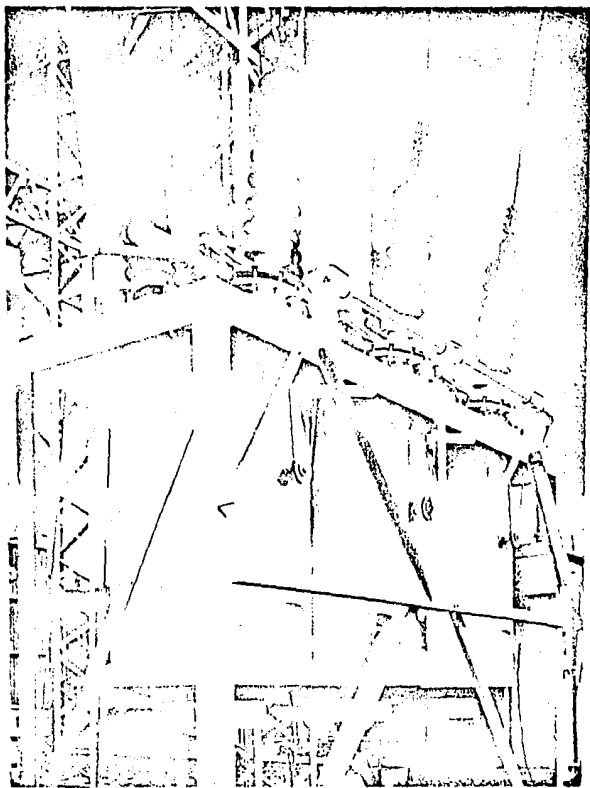
Los interruptores de gran volumen de aceite se construyen, generalmente, en tanques cilíndricos debido a las fuertes presiones internas presentes durante la interrupción, reforzándose, además, el fondo de dichos tanques.

Estos interruptores pueden ser monofásicos o trifásicos. Los monofásicos se emplean cuando se trabaja con voltajes muy elevados. Los trifásicos se operan a voltajes relativamente pequeños y sus contactos se encuentran en un mismo recipiente y aislados entre sí por medio de separadores.

a.2 Interruptores de gran volumen de aceite con cámara de extinción.

Para evitar las explosiones que pueden ser ocasionadas por las fuertes presiones existentes en el interior de los interruptores de gran volumen de aceite de grandes capacidades, son usados ciertos dispositivos llamados cámaras de extinción, dentro de las cuales es extinguido el arco para evitar desplazamientos de aceite dentro del recipiente. Los interruptores que emplean estos dispositivos reciben el nombre de interruptores de gran volumen de aceite con cámara de extinción. A continuación se muestran los elementos principales de una cámara de extinción.



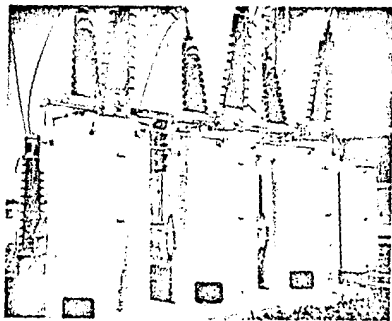


Interrupitor de gran volumen de aceite de
69 KV, 600 amperes.

Cuando ocurre una falla, son separados los contactos fijo y móvil dentro de la cámara. Los gases producidos tienden a escapar, pero como se encuentran dentro de la cámara que contiene aceite, originan que éste circule violentamente para extinguir el arco.

Al salir el contacto móvil de la cámara, lo que aún queda del arco se acaba de extinguir, entrando nuevamente aceite frío a la cámara. Cuando los arcos son extinguidos, se cierran los elementos de admisión de la cámara.

Para la reconexión después de alguna falla, o bien para la apertura o cierre con carga, los contactos móviles pueden ser accionados en forma manual o automática, empleando se medios mecánicos, electromagnéticos, o bien, utilizando un motor eléctrico que puede operarse a control remoto.



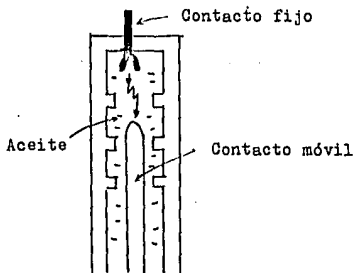
Interruptores de gran volumen de aceite con cámara de extinción, de 115 KV, 800 amperes y 3,000 MVA.

Los interruptores de gran volumen de aceite son utilizados en las subestaciones de gran capacidad y en las cuales se manejen voltajes mayores de 33 KV.

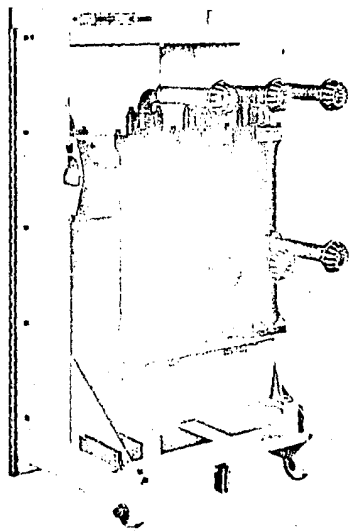
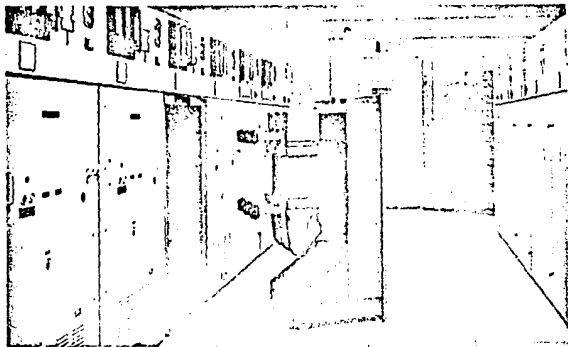
a.3 Interruptores de pequeño volumen de aceite.

Este tipo de interruptores son fabricados, por lo general, del tipo columna y en su interior se encuentra una cámara de extinción construída de tal forma que la cantidad de aceite utilizado es aproximadamente el 2% de la que se emplea en los interruptores de gran volumen de aceite.

A continuación es mostrada una cámara de extinción y las partes que la constituyen.



Al ocurrir una falla, el contacto móvil se desconecta originándose un arco eléctrico. A ir saliendo el contacto móvil, se va creando una circulación de aceite entre los diferentes compartimientos de la cámara. Al llegar el contacto móvil a la máxima distancia de su recorrido hacia afuera, el aceite que circula violentamente extingue el arco por completo, y los gases producidos escapan por la par



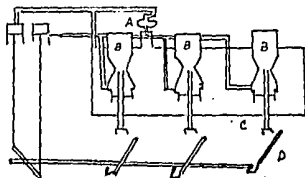
te superior del interruptor.

b. Interruptores neumáticos.

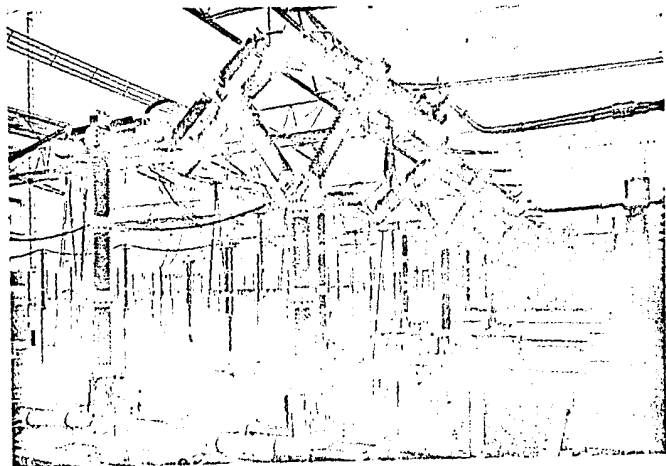
En este tipo de interruptores, la extinción del arco se efectúa mediante aire a presión, reduciendo el peligro de explosión e incendio que se presentan en los interruptores de aceite.

El aire es abastecido por un sistema exterior que puede estar formado por una o varias compresoras, un tanque principal y uno de reserva así como un sistema de distribución para el caso de que sean dos o más los interruptores usados.

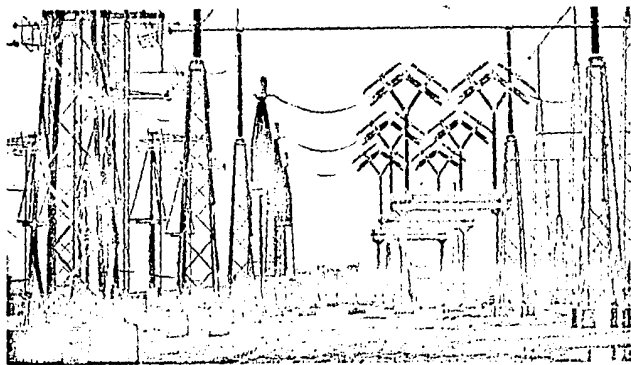
El funcionamiento de los interruptores neumáticos se hará a partir de la siguiente figura, la cual nos servirá de referencia.



Cuando ocurre una falla, ésta es detectada por un dispositivo de control accionándose la válvula principal (A), - la cual es abierta para permitir el acceso de aire a los -



INTERRUPTORES NEUMATICOS



aisladores huecos (B). El aire a presión que entra a los aisladores huecos presiona mediante un émbolo a los contactos (C), los cuales accionan a los contactos (D) que operan en forma simultánea y abren el circuito.

Como los aisladores huecos (B) se encuentran conectados directamente a las cámaras de extinción, al bajar los contactos (C) para accionar los contactos (D), el aire a presión que se encuentra en los aisladores (B) entra violentamente a la cámara de extinción, extinguiendo de esa manera el arco producido.

Este tipo de interruptores se fabrican para uso exterior o interior, y pueden ser monofásicos o trifásicos.

Los datos técnicos necesarios para la adquisición de un interruptor de potencia son los siguientes:

- a. Voltaje normal de operación.
- b. Corriente nominal.
- c. Corriente de ruptura en KA.
- d. Capacidad de ruptura en MVA.

3. Restauradores.

En los sistemas de distribución, son usados los restauradores, dispositivos que, además de la protección del equipo eléctrico empleado, permiten la continuidad en el servicio.

Un restaurador, en síntesis, es un interruptor de aceite con sus tres contactos dentro de un mismo tanque y que opera con capacidades interruptivas relativamente bajas y con voltajes no muy elevados. Su operación es totalmente automática y sus características de apertura y cierre son regulables de acuerdo a las necesidades de la red de distribu-

ción que se esté protegiendo.

Los restauradores se construyen, por lo general, para -- funcionar con tres operaciones de recierre y cuatro aperturas, con un intervalo entre una y otra calibrado de antemano. En la última apertura, el cierre debe ser manual, ya - que indica que la falla es permanente.

El restaurador opera en forma semejante a un interruptor trifásico. Sus contactos móviles son accionados por un vástago común, lo cual hace que las conexiones y desconexiones se realicen en forma simultánea.

Un sistema de bobinas y resortes calibrados de antemano provocan que los contactos móviles se abran y cierren al ocurrir una falla. Si ésta es temporal, el servicio se restablece ya que los contactos móviles se cierran automáticamente después de la apertura. Si la falla es permanente, - los contactos se abren y cierran cierta cantidad de veces antes de quedar aislada la sección protegida. Después de - la última apertura, el cierre debe hacerse en forma manual.

Los restauradores que más se emplean son los tipos R y W y ambos son semejantes, diferenciándose en la capacidad para la que fueron diseñados. A continuación se dan algunos datos de estos restauradores.

TIPO R

Voltaje nominal = 2.4 - 14.4 KV

Corriente nominal = 25 - 400 A

Voltaje de diseño = 15.5 KV

TIPO W

Voltaje nominal = 2.4 - 14.4 KV

Corriente nominal = 100 - 560 A

Voltaje de diseño = 15.5 KV

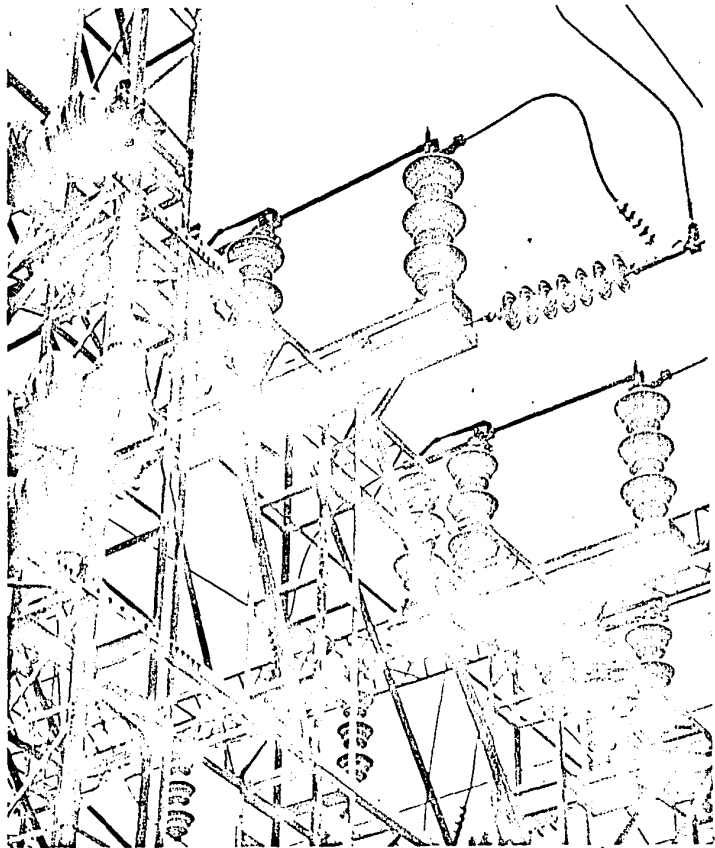
4. Cuchillas desconectadoras.

Las cuchillas desconectadoras, conocidas también como -- seccionadores, tienen como única misión desconectar físicamente un circuito eléctrico y deben ser accionadas sólo -- cuando el circuito haya sido abierto por otros medios. Se utilizan para aislar equipos o parte de un circuito para -- proceder a su inspección o reparación.

Como generalmente están situadas lejos del alcance de la mano, llevan un ojal en el extremo libre de la cuchilla -- que permite su manejo con una pértiga aislante. Algunas cuchillas, sin embargo, pueden ser accionadas en forma automática.

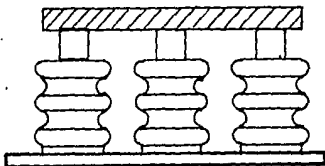


Seccionadores de una subestación.



A continuación se muestran algunos tipos de cuchillas y sus aplicaciones más comunes.

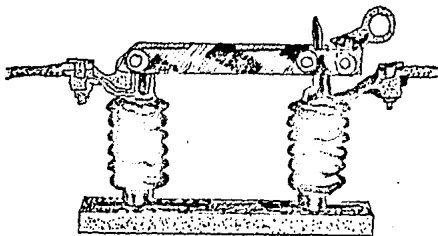
a. Cuchilla con tres aisladores, dos fijos y uno giratorio al centro.



Estas cuchillas, llamadas también de doble arco, se emplean comúnmente en subestaciones tipo intemperie con corrientes elevadas y voltajes del orden de los 34.5 KV; son operadas generalmente en grupo, por mando eléctrico. No presentan peligro para el operario, ya que es grande la separación entre polos.

b. Cuchillas con dos aisladores de operación vertical (normal e invertida).

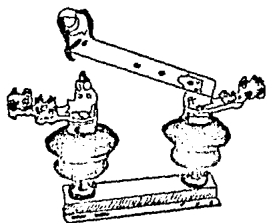
Este tipo de cuchillas es de los más usuales por su operación simple. Puede usarse en instalaciones interiores o a la intemperie. Para usos interiores se recomienda usarla con voltajes no mayores de 23 KV. Para operación con pértiga, el lugar donde se para el operario para efectuar la desconexión debe ser, de acuerdo con las normas de seguri-



dad, una madera cubierta de hule.

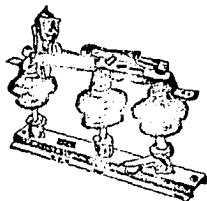
Para montaje a la intemperie puede usarse en cualquiera de los voltajes normales de operación, con mando por barra o motor eléctrico.

c. Cuchillas con dos aisladores de operación horizontal-
(un aislador fijo).



Este tipo de cuchillas es de uso de intemperie generalmente. Presentan muchas ventajas cuando son accionados neumáticamente, por tal razón, es conveniente emplearlas cuando se disponga de aire comprimido. Se usan para cualquier valor de los voltajes de operación. Pueden accionarse también por barra o motor eléctrico. Tienen el inconveniente de que la hoja de desconexión se desajusta después de varias operaciones.

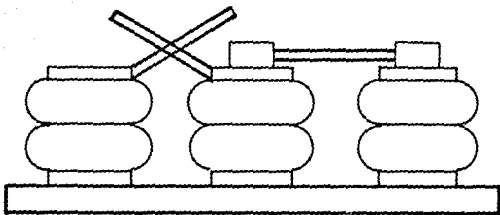
d. Cuchillas con tres aisladores de doble arco (tipo "AV").



Estas cuchillas se emplean en instalaciones de corriente elevada y voltajes medios. Su operación generalmente es por barra o motor eléctrico, pero también pueden accionarse con aire comprimido. En sistemas de distribución de 33- y 23 KV se usan para interconexión de líneas.

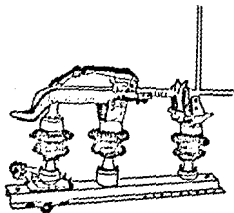
e. Cuchillas con tres aisladores, con el aislador central desplazable por cremallera.

El rango de aplicación de estas cuchillas es semejante -



al de las cuchillas de operación vertical. Debido a su tamaño, generalmente son accionadas por motor eléctrico, aunque se pueden accionar por barra o aire comprimido.

f. Cuchillas con cuernos de arqueo.



Estas cuchillas pueden ser de operación horizontal o vertical. Se usan por lo general en sistemas que operan con -

voltajes muy elevados, por ejemplo 66, 88, 115 KV, etc. Su empleo es indispensable en líneas largas. Los cuernos de -arqueo sirven para que entre ellos se forme el arco al desconectar las cuchillas, y a la conexión a tierra para disipar la energía del arco.

El arco se forma debido a la carga residual que conser--van las líneas largas al quedar en vacío después de la a--pertura del interruptor.

Los datos que se deben proporcionar para el pedido de cuchillas desconectadoras son los siguientes:

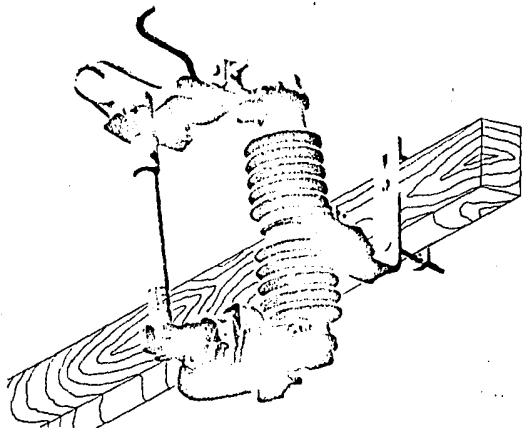
Voltaje nominal de operación.

Corriente nominal.

Corriente de corto circuito (simétrica y asimétrica).

Tipo de montaje (horizontal o vertical), y forma de man-do.

5. Cortacircuitos fusible.



El cortacircuitos fusible es un dispositivo que actúa como cuchilla desconectadora y como elemento de protección.

La protección es realizada por un fusible que se encuentra dentro del cartucho de conexión y desconexión. El fusible es seleccionado de acuerdo con el valor de corriente nominal que va a circular por él. Los fabricantes proporcionan el valor correspondiente de la corriente de ruptura para cualquier valor de corriente nominal.

A continuación se muestra una tabla proporcionada por el fabricante para un cortacircuitos comercial.

CORTA-CIRCUITOS CHANCE

TIPO F-3

DE SIMPLE VENTEO

METODO DE SELECCION

Estos CORTACIRCUITOS pueden instalarse en cualquier tipo de configuración en Sistemas Monofásicos o Trifásicos de acuerdo con su voltaje nominal

| Voltaje Nominal | Corriente Continua | Capacidad Interruptiva | | NBAI* | Catálogo Chance | Peso |
|--------------------|-----------------------|------------------------|------------|-------|--------------------|------|
| | | Amperes | | | | |
| KV | Amperes | Asimétricos | Simétricos | KV | | Kg |
| 15 | 100 | 8,000 | 5,600 | 95 | C70G-225000 S | 8 |
| 15 | 100 | 10,000 | 7,600 | 125 | C70G-225000 M | 8 |
| 25 | 100 | 6,000 | 4,000 | 150 | C70G-234000 S | 11 |
| 34.5 | 100 | 2,000 | 1,500 | 150 | C70G-345000 S | 12 |

En la siguiente página aparece un cortacircuitos fusible comercial y algunas de las características del mismo tal y como las proporciona el fabricante.

CORTA-CIRCUITOS CHANCE

Tipo F-3

DE SIMPLE VENITEO

⑤ TERMINALES CONECTORAS de bronce, con diseño paralelo, y estrías traslapadas que aprisionan con absoluta confiabilidad al conductor, haciendo contacto con todos los hilos exteriores del mismo. Estas terminales sirven para conductores desde el No. 6 de cobre sólido, hasta el 4/0 ACSR ó 250 MCM. de cobre. Su diseño proporciona un contacto extra para la conexión adecuada de Apartarrrayos.

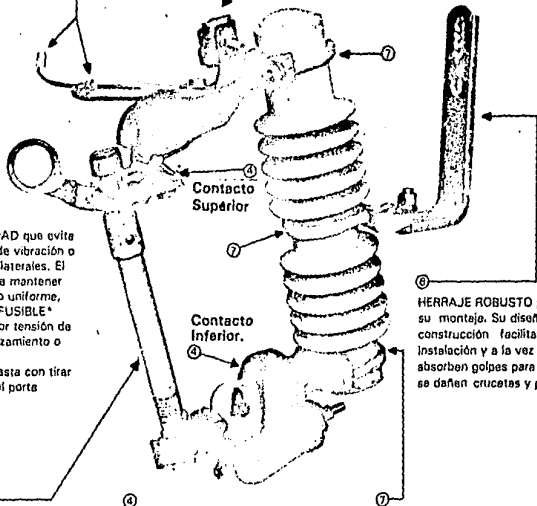
① Planchos Portaherramientas.

ERROJO DE SEGURIDAD que evita que se abra por causa de vibración o por empuje o impactos laterales. El errojo también ayuda a mantener la presión de contacto uniforme, cuando el LISTON FUSIBLE* está instalado con menor tensión de requerida, o por deslizamiento o argamamiento de éste. Para aflojar el cerrojo basta con tirar hacia abajo del anillo del porta fusible.

③ CUBO PORTA FUSIBLE con diseño, instrucción y materiales de muy especiales características, para evitar queoos, resistir las explosiones y ternas y participar mecánicamente a la función del CORTA-CIRCUITOS CHANCE.

④ CONTACTOS DE ALTA EFICIENCIA recubiertos de plata, y con presión constante. La amplia superficie de contacto asegura una eficiente transferencia de corriente aún en el caso de que estén fuera de centro por algún impacto accidental. Las fuerzas mecánicas de los contactos están dirigidas de tal forma, que ayudan a la caída del porta fusibles. Cada vez que el CORTA-CIRCUITOS se abre o cierra, se limpian los contactos por sí mismos.

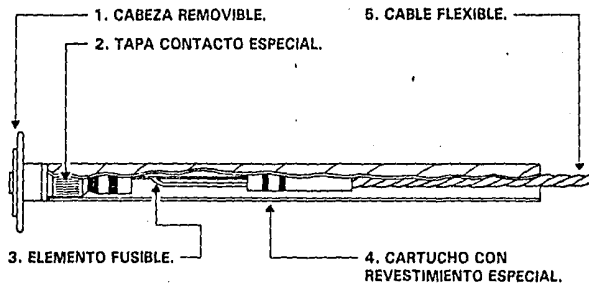
⑦ ABRAZADERAS Tipo "U" RECUBIERTAS con plastisol para evitar que se maltrate la porcelana, gracias a lo cual ésta trabajará a compresión y sin agujeros que la debiliten. Las tuercas que sujetan a estas abrazaderas, se aprietan con herramienta neumática, con reguladores de torque.



Los elementos fusibles son fabricados con plata (casos especiales), cobre electrolítico con aleación de plata, aleación de cobre-estaño, aleación de cobre níquel y acero inoxidable. A continuación se muestra un listón fusible comercial usado en los cortacircuitos.

Listones Fusibles

TIPO K
VELOCIDAD RAPIDA
TIPO T
VELOCIDAD LENTA



6. Apartarrayos.

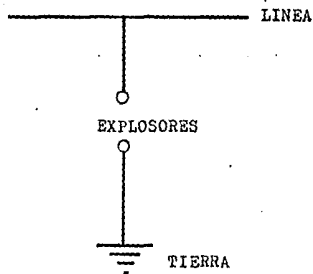
El apartarrayos es un dispositivo de protección contra los impulsos de sobretensión debidos a las descargas atmosféricas. Dichas descargas pueden ser directas o indirectas siendo estas últimas las que se presentan con mayor frecuencia.

Las sobretensiones originadas por descargas indirectas se deben al almacenamiento de cargas electrostáticas sobre

las líneas, que al ocurrir la descarga se parten en dos y viajan en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz.

El apartarrayos, permanentemente conectado al sistema, proporciona una trayectoria por la cual la sobrecarga se deriva a tierra antes de que pueda dañar severamente a las líneas, transformadores u otros componentes.

El apartarrayos basa su funcionamiento en la formación de un arco eléctrico entre dos puntos separados por aire a los que se les dá el nombre de explosores.



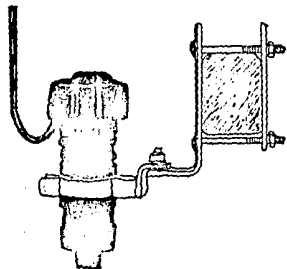
La separación de los explosores está determinada de acuerdo al voltaje con el cual se va a operar.

Los apartarrayos son fabricados en varios tipos, siendo los más usados el autovalvular y el de resistencia variable.

a. Apartarrayos de resistencia variable.

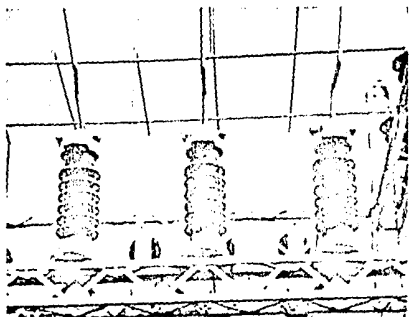
Este tipo de apartarrayos se compone de un cilindro de -

porcelana lleno de gránulos de peróxido de plomo. Los explosores se encuentran generalmente en la parte superior.



Cuando hay un impulso de sobretensión en la línea, el arco creado entre los explosores hace que la corriente sea derivada a tierra a través de los gránulos. Cuando la sobretensión disminuye, la resistencia de los gránulos aumenta para que la corriente de la línea no circule a tierra.

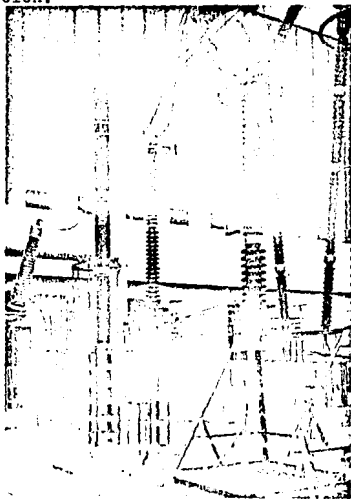
En algunos modelos, el peróxido de plomo de los gránulos es reemplazado por otro material.



b. Apartarrayos autovalvular.

El apartarrayos autovalvular está compuesto de bloques - cilíndricos porosos y de elementos explosores. El conjunto es comprimido por medio de resortes. Las unidades así formadas están encerradas en una cámara de porcelana provista de una pieza de base y otra de tapa, donde se fijan las -- terminales de puesta a tierra y de línea, respectivamente.

Este tipo de apartarrayos se emplea en los sistemas que operan a grandes voltajes, ya que representan una gran seguridad de operación.



Una forma de asegurar aún más las instalaciones contra - descargas directas es mediante la instalación de unas varillas conocidas como bayonetas e hilos de guarda semejantes a los que se colocan en las líneas de transmisión.

El voltaje al cual operan los apartarrayos es conocido -- técnicamente como tensión de cebado del apartarrayos.

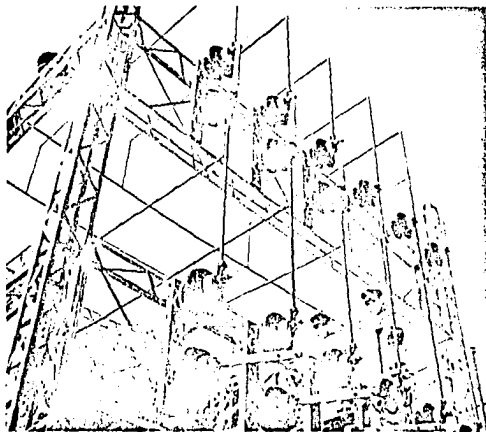
7. Barras colectoras.

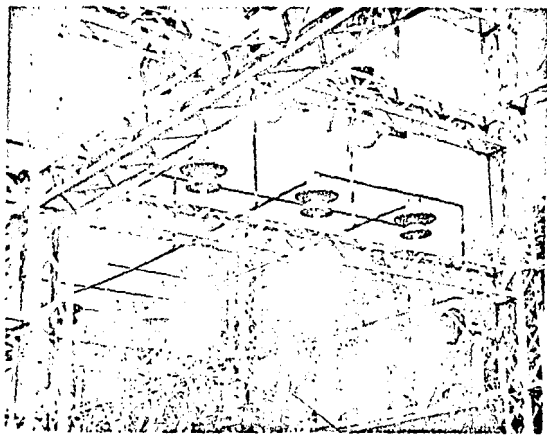
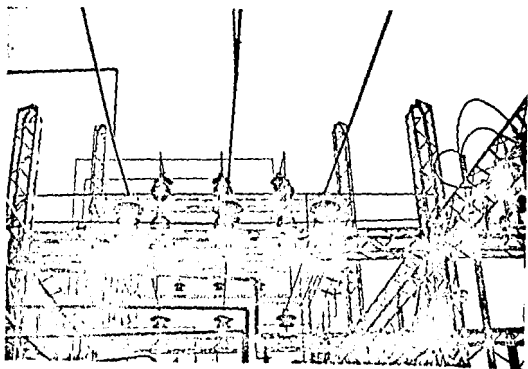
Barras colectoras es un término utilizado para designar una barra o conductor principal que transporta una corriente eléctrica y a la cual pueden hacerse varias conexiones.

Las barras colectoras, llamadas también buses, son simplemente medios convenientes de conectar interruptores y otros equipos en diversas distribuciones. Posteriormente se estudiarán los diferentes tipos de conexiones.

Las barras colectoras se fabrican de diversos tamaños y formas.

A continuación se muestran las barras colectoras en una subestación tipo intemperie.





8. Transformadores para instrumento.

Con el nombre de transformadores para instrumento, son conocidos aquellos transformadores empleados para la alimentación de equipo de medición, protección o control de las subestaciones. Los podemos encontrar de corriente o de potencial.

a. Transformadores de corriente.

El transformador de corriente es aquél que se emplea para cambiar el valor de la corriente, de uno elevado a otro menor con el cual puedan ser alimentados ciertos instrumentos. Estos pueden ser amperímetros, vatímetros, instrumentos registradores, relevadores, etc.

Consta de un primario y un secundario y es de construcción semejante a cualquier tipo de transformador, aunque existen algunos transformadores de corriente que operan con corrientes relativamente bajas y pueden construirse sin devanado primario, ya que éste lo constituye la línea a la cual van a conectarse. Este transformador se denomina tipo dona.

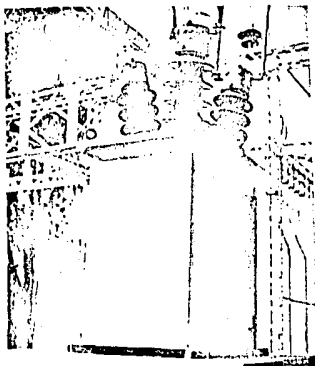
La capacidad de los transformadores de corriente es pequeña y puede ser 15, 30, 50, 60 y 70 VA, dependiendo del número de instrumentos que van a alimentar. Son pues, de tamaño reducido y su aislamiento debe ser de muy buena calidad.

Por lo general, la corriente obtenida en el devanado secundario tiene un valor de 5 amperes en la mayoría de los transformadores de corriente, no obstante que sus relaciones de transformación sean diferentes.

b. Transformadores de potencial.

Este tipo de transformador tiene como función principal transformar los valores de voltaje sin importar la corriente. Sirven para alimentar instrumentos de medición, control o protección que requieran señal de voltaje.

Aunque son construídos para diferentes relaciones de transformación, el voltaje en el secundario es normalmente de 115 voltios. Su capacidad es baja y varía de 15 a 60 VA. Los aislamientos empleados deben ser también de muy buena calidad, empleándose en algunos casos resinas sintéticas, aceite o líquidos no inflamables.



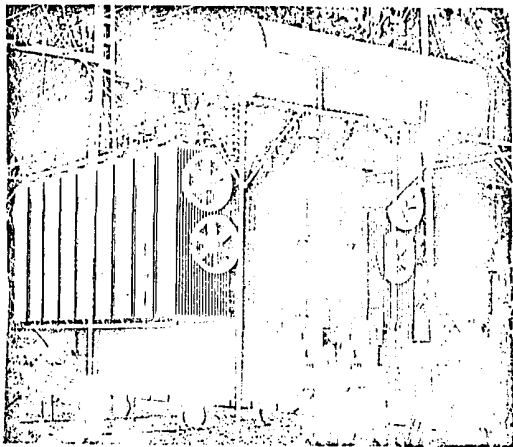
Tanto los transformadores de corriente como los de potencial casi siempre estarán conectados en sistemas trifásicos, pudiendo realizarse las conexiones normales trifásicas entre transformadores.

9. Reguladores de voltaje.

El regulador de voltaje es un dispositivo empleado para mantener fijo el voltaje en todo momento.

Un regulador es en realidad un transformador con una relación variable. Cuando el voltaje de salida sube o baja demasiado por cualquier razón, este aparato ajusta automáticamente la relación de transformación para volver el voltaje a un valor predeterminado. El ajuste de la relación se logra por medio de derivaciones en los arrollamientos, con los cuales se hacen las conexiones.

La unidad se llena con aceite y se refrigera en forma similar a un transformador. En un tablero al frente se instalan los relevadores y demás mecanismos de control para su funcionamiento.

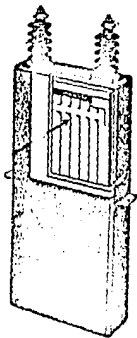


10. Capacitores de potencia.

La función de los capacitores de potencia es la de mantener el factor de potencia lo más cerca posible de la unidad.

Debido a las características de la mayoría de las cargas industriales, combinación de resistiva e inductiva, se ha presentado la necesidad de utilizar los capacitores de potencia, ya que estos proporcionan la potencia reactiva de carácter capacitivo que sea necesaria, pudiéndose instalar en bancos fijos o bancos divididos en secciones fijas y -- desconectables.

En nuestro país, por decreto, la compañía suministradora cobra multas a las empresas cuyo factor de potencia durante cualquier mes tenga un promedio menor que 85% atrasado.



El uso de capacitores de potencia, comparado con el uso de otros medios de generación de potencia reactiva, implica interesantes ventajas de un bajo costo por KVAR instalado, un fácil manejo y un mantenimiento sencillo y barato,--

que en muchos casos se hace prácticamente inexistente.

11. Tableros eléctricos.

Un tablero de distribución es aquel que contiene todos los elementos necesarios para controlar, proteger y registrar lo que sucede en una subestación. Los tableros pueden ser de baja o de alta tensión.

a. Tableros de baja tensión.

Un tablero de baja tensión es el que trabaja a voltajes no mayores de 1,000 voltios de corriente alterna o a no más de 1,500 voltios de corriente directa.

Los voltajes nominales de corriente alterna para tableros de baja tensión son:

120 voltios
240 voltios
480 voltios
550 voltios

Los voltajes de tableros de baja tensión para corriente directa son:

125 voltios
250 voltios
550 voltios

Las corrientes nominales para tableros de baja tensión en corriente alterna o corriente directa son las siguientes:

600 amperes
1,200 amperes
2,000 amperes
3,000 amperes

4,000 amperes

5,000 amperes

b. Tableros de alta tensión.

Un tablero de alta tensión es aquel que trabaja a un voltaje mayor de 1,000 voltios de corriente alterna o mayor - de 1,500 voltios de corriente directa.

Los voltajes nominales de corriente alterna para table--ros de alta tensión son:

2,400 voltios

4,160 voltios

7,200 voltios

13,800 voltios

23,000 voltios

34,500 voltios

Las corrientes nominales para tableros de alta tensión - para corriente alterna o corriente directa son:

600 amperes

1,200 amperes

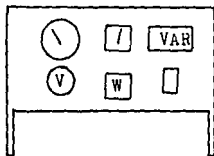
2,000 amperes

3,000 amperes

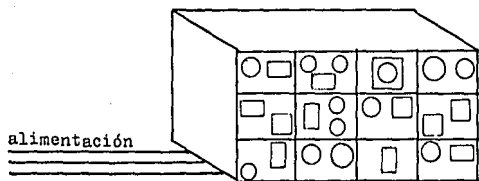
4,000 amperes

5,000 amperes

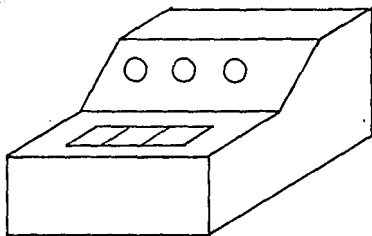
A continuación se muestran algunos tipos de tableros.



Simplex no blindado



Tablero simplex blindado



Tablero tipo escritorio

8.3.3 Diagramas unifilares.

El diagrama completo de una subestación, y en general, de cualquier sistema trifásico, rara vez es necesario, ya que dichos diagramas frecuentemente esconden, en vez de -- clarificar, la información que buscamos desde el punto de vista del sistema.

Un diagrama unifilar es un diagrama simplificado de un sistema y representa por medio de una línea simple y de -- símbolos normalizados, a las líneas de transmisión y a los aparatos asociados de un sistema eléctrico. El objeto de -- un diagrama unifilar es suministrar de manera concisa los datos más significativos e importantes.

La "American National Standards Institute" (ANSI) y el -- "Institute of Electrical and Electronic Engineers" (IEEE) -- han publicado un conjunto de símbolos normalizados para -- los diagramas, algunos de los cuales son mostrados a conti -- nuación.



Transformadores de dos arrollamientos



Autotransformador



Tranformador de corriente



Transformador de potencial



Disyuntor en aceite



Disyuntor en aceite accionado por solenoide



Disyuntor en aceite accionado a mano -- con disparo



Disyuntor en aceite accionado por motor



Disyuntor en aceite accionado por aire-comprimido



Disyuntor en aceite ficticio



Disyuntor en aceite corredizo



Disyuntor al aire



Disyuntor al aire ficticio

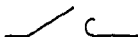
Disyuntor al aire corredizo



Seccionador accionado por palanca



Seccionador accionado por palanca con -
cuchilla sin energía cuando está abier-
to



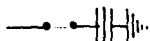
Interruptor al aire



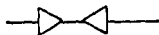
Generador



Tierra



Apartarrayos



Cabezales

8.4 LINEAS DE TRANSMISION.

El transporte de la energía eléctrica se realiza por medio de líneas de transmisión, las cuales constituyen los eslabones de conexión entre las centrales generadoras y -- las redes de distribución, y conduce a otras redes de potencia por medio de interconexiones. Las redes de distribución, en cambio, son las encargadas de conectar las cargas aisladas de una zona determinada con las líneas de transmisión.

Los voltajes empleados en nuestro país para el transporte de la energía eléctrica y que caracterizan a las líneas de transmisión como líneas de alto voltaje, son los siguientes:

- a. 69 KV
- b. 115 KV
- c. 161 KV
- d. 230 KV
- e. 400 KV

La necesidad de que el transporte sea realizado a voltajes tan elevados ya ha sido discutido anteriormente. En esta sección serán estudiados los componentes así como algunas de las características más importantes de las líneas de transmisión.

8.4.1 Elementos de las líneas de transmisión.

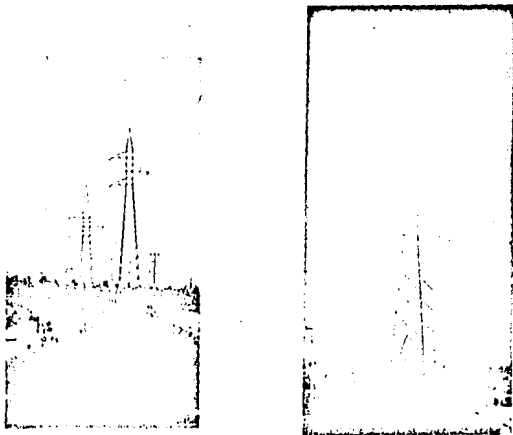
Las líneas de transmisión se componen, básicamente, de los siguientes elementos:

1. Apoyos de las líneas.
2. Conductores.
3. Aisladores.

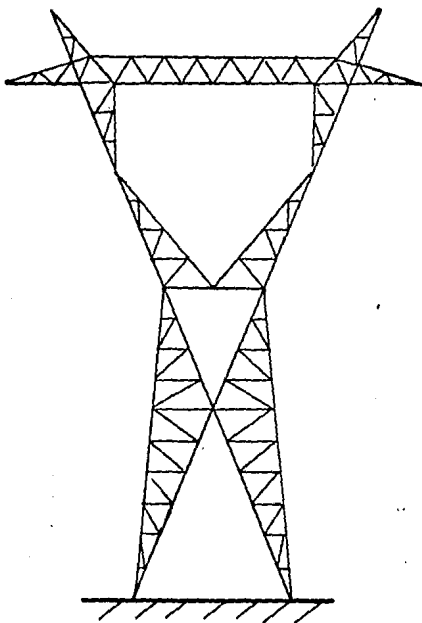
A continuación, se estudiarán los componentes mencionados.

1. Apoyos de las líneas.

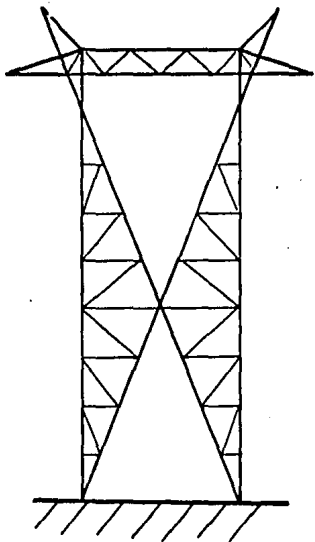
Los apoyos para las líneas de transmisión están constituidos por estructuras metálicas hechas de acero y construidas especialmente para soportar los grandes esfuerzos mecánicos a que se someten las líneas ya que la seguridad y firmeza de los apoyos son factores determinantes en su construcción.



Se muestran, a continuación, algunas estructuras metálicas usadas comúnmente.



Apoyo para una línea de 400 kv



Apoyo para una línea de 115 kv

2. Conductores.

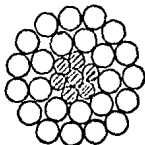
En las primeras líneas de transmisión existentes, los conductores empleados eran generalmente de cobre, pero los conductores de aluminio han reemplazado completamente a los de cobre debido al menor costo y a que son más ligeros comparados con los de cobre de la misma resistencia.

Los símbolos que identifican a los diferentes tipos de conductores de aluminio son los siguientes:

| | |
|------|--|
| ACC | conductor de aluminio |
| AAAC | conductor de aluminio con aleación |
| ACSR | conductor de aluminio con refuerzo de acero |
| ACAR | conductor de aluminio con refuerzo de aleación |

Los AAAC tienen mayor resistencia mecánica que los conductores eléctricos de aluminio de tipo ordinario. El ACSR consiste de un núcleo central de alambres de acero rodeado por capas de alambre de aluminio. El ACAR tiene un núcleo central de aluminio de alta resistencia rodeado por capas de conductores eléctricos de aluminio tipo especial.

Las capas de alambre de un conductor trenzado son arrolladas en direcciones opuestas a fin de prevenir desenrollados y hacer que el radio externo de una capa coincida con el radio interno de la siguiente. A continuación se muestra la sección transversal de un conductor con refuerzo de acero, 7 hilos de acero y 24 de aluminio.

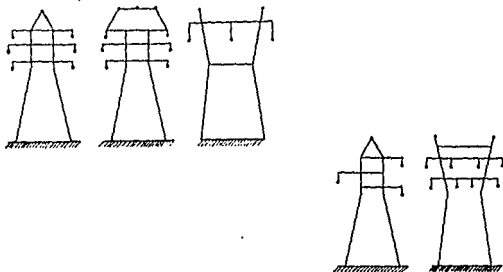


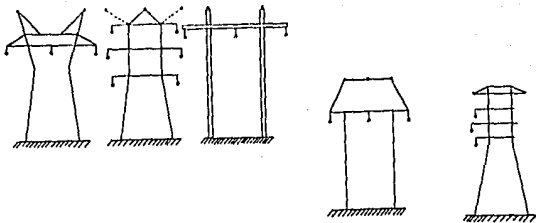
Los conductores se balancean por la acción del viento y casi siempre lo hacen en forma síncrona. Sin embargo, si uno de los conductores pierde el sincronismo, puede ocurrir al cesar el viento, que no todos dejen de oscilar al mismo tiempo y que debido a esto uno de ellos se lance contra el otro, existiendo el peligro de una descarga por arco entre ellos si llegan a acercarse demasiado.

Los conductores también vibran y la vibración de los mismos debe ser evitada ya que de lo contrario pueden existir roturas en los conductores. Se utilizan para tal fin, pinzas especiales de suspensión y otros dispositivos amortiguadores.

La separación entre conductores de una línea de transmisión es muy importante para evitar descargas entre ellos y las pérdidas que tienen lugar por efecto corona, el cual se explicará más adelante.

En las siguientes ilustraciones se muestran algunas disposiciones típicas de los conductores en las líneas de transmisión.





3. Aisladores.

Los conductores se montan en los apoyos, por intermedio de aisladores fabricados con porcelana o vidrio. La función del aislador es no dejar pasar la corriente del conductor al soporte.

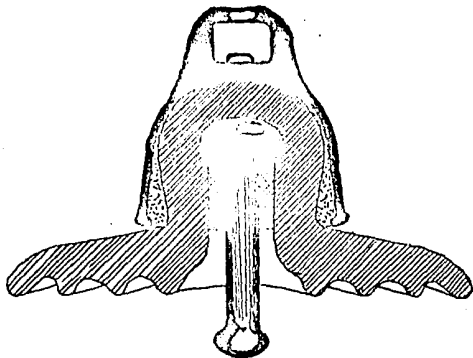
La porcelana empleada debe ser de estructura homogénea, con un recubrimiento de esmalte en su superficie exterior para darle tersura y dificultar de este modo la adherencia de la humedad y el polvo.

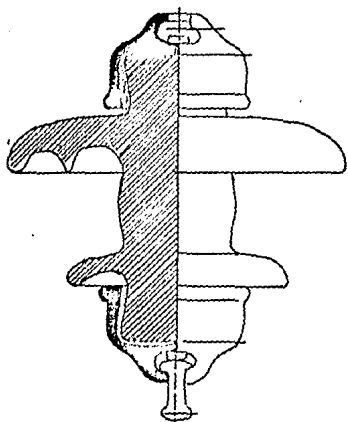
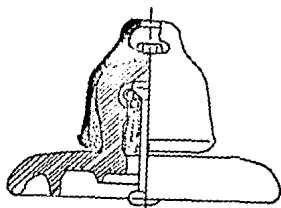
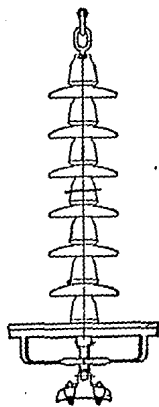
Los aisladores de vidrio se fabrican recociendo bien las piezas una vez fabricadas, para disminuir su fragilidad.

Existen varios tipos de aisladores, los cuales serán estudiados en detalle posteriormente. Por ahora solo mencionaremos que los aisladores empleados en las líneas de transmisión son del tipo de cadena.

El aislador de cadena está formado de varias piezas sueltas uniformes, cuyo número depende del voltaje al cual se empleen. Esta disposición facilita el montaje cómodo y un rápido cambio de las piezas defectuosas.

Este tipo de aislador aumenta el poder aislante de una línea con solo aumentar el número de elementos de la cadena. A continuación se muestran los dos tipos de elementos más usados en los aisladores de cadena, así como una cadena de suspensión normal.





8.4.2 Características de las líneas.

En esta sección serán estudiadas algunas de las características más importantes de las líneas de transmisión.

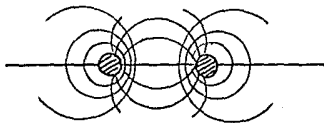
1. Resistencia, Inductancia y Capacitancia.

Las pérdidas en el transporte de la energía eléctrica -- son debidas a los tres factores enunciados, siendo el primero de ellos tal vez el más importante.

La resistencia que presenta una línea depende del tipo -- de conductores empleados, de su longitud, del material del cual están fabricados y de su grosor. Existen tablas en -- las cuales se obtienen los valores de resistencia por kilo metro que tienen los diferentes tipos de conductores.

Al circular corrientes eléctricas por los conductores, -- hay campos magnéticos asociados, razón por la cual las líneas poseen cierta inductancia debido a las variaciones -- de dichos campos por circular corriente alterna por los -- conductores.

La diferencia de potencial entre los conductores de una -- línea de transmisión hace que estos se carguen como las -- placas de un condensador cuando existe una diferencia de -- potencial entre ellos. En la siguiente ilustración se mues -- tran los campos eléctrico y magnético asociados a una lí -- nea de dos conductores.



2. Pérdidas de energía en las líneas.

Los conductores desnudos de una línea de transmisión sometidos a voltajes muy elevados y expuestos al aire que, aunque aislante, tiene un punto de ruptura, pueden dar lugar a pérdidas de energía, las cuales dependen de la distancia entre conductores y de sus diámetros. Cuanto menores son estas distancias, mayores son las pérdidas.

Puede ocurrir en un instante dado, la formación de un arco entre dos conductores cuando son acercados por el viento o bien cuando la diferencia de potencial entre ellos es muy elevada. Dicho valor de voltaje puede ser modificado debido a la niebla, el granizo, humos procedentes de las fábricas y por las nevadas, existiendo mayores probabilidades de descarga por la presencia de estos factores.

Otro fenómeno llevado a cabo en las líneas de transmisión y que repercute directamente en pérdidas de energía, es el llamado efecto corona.

El campo eléctrico tan intenso en puntos muy cercanos a los conductores tiende a ionizar el aire circundante formándose una luminiscencia alrededor de los conductores, algo así como una corona violácea. El conductor tiende a descargarse paulatinamente, lo cual implica pérdidas en la energía transportada.

3. Protección contra descargas atmosféricas.

Para asegurar la continuidad del servicio y con objeto de que éste sufra las menores interrupciones posibles y no cause perjuicio sensible a los usuarios ni a las empresas, es necesario que las líneas puedan soportar descargas atmosféricas en un gran porcentaje sin que se produzcan cortes de corriente en la conducción.

En los extremos de las líneas se colocan apartarrayos, - que tienen la propiedad de conducir a tierra las ondas de sobretensión que llegan a las centrales o a las subestaciones, pero es necesario que éstas líneas puedan conducir a aquellas sin deterioro de sus elementos y con un reducido número de puestas a tierra a causa de las descargas de rayos.

Desde hace muchos años se emplean, para proteger las líneas contra los rayos directos, cables de acero colocados encima de los conductores, en la punta de las torres metálicas; estos cables actúan como pantalla y se ponen a tierra en cada uno de los apoyos de la línea. En esta forma - el cable o cables de tierra reciben el impacto del rayo y solamente un porcentaje muy reducido puede alcanzar algún conductor.

En la protección contra el rayo, desempeña un papel importante la rigidez dieléctrica de los aisladores de la línea, según sean el tipo de elementos y el número de éstos que constituyan la cadena.

8.5 REDES DE DISTRIBUCION

Después de que la energía eléctrica ha sido transportada de las centrales generadoras a los centros de consumo, las redes de distribución se encargan de hacerla llegar a los usuarios. En esta sección estudiaremos el último paso del proceso empezado en las centrales.

8.5.1 Generalidades.

En las subestaciones reductoras instaladas al final de -

las líneas de transmisión, el voltaje es reducido para su distribución en determinada zona. Cada subestación abastece su zona de carga mediante líneas de distribución primaria, las cuales trabajan con voltajes de 13.2 KV, 23 KV y 33 KV.

Los transformadores de distribución se conectan a las líneas de distribución primaria y reducen el voltaje a 110,- 220 y 440 voltios para transportarlo por la red secundaria hasta la instalación del usuario.

Las líneas que transportan la energía al voltaje de utilización desde el transformador hasta el usuario, reciben el nombre de líneas de distribución secundaria y pueden -- ser aéreas o subterráneas.

En la mayoría de las industrias son instaladas subestaciones reductoras que están conectadas directamente a la línea de distribución primaria y que abastecen las cargas conectadas a ellas. La instalación de tales subestaciones obedece a cuestiones meramente económicas, ya que debido a los consumos elevados de electricidad, resulta más barato que la C.F.E. les suministre la energía al voltaje de la línea de distribución primaria.

8.5.2 Líneas aéreas.

Los apoyos para los conductores de las líneas aéreas pueden ser de tres tipos:

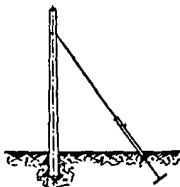
- a. Postes de madera.
- b. Postes de acero.
- c. Postes de hormigón armado.

Aunque en la actualidad existen líneas que utilizan pos-

tes de madera, los de hormigón armado son los que generalmente se utilizan, ya que estos son más duraderos aunque más caros. Los conductores se fijan a los aisladores y éstos son apoyados en crucetas.

La resistencia mecánica de los postes está determinada por el peso de las crucetas, aisladores, cables, transformadores y demás material que debe soportar así como también por las cargas debidas al viento y en algunos sitios al hielo depositado encima de los conductores y que aumenta su peso. Todas estas fuerzas tienden a quebrar a nivel del suelo los postes si éstos son de madera, o a flexionarlos si son de hormigón armado.

Otro factor que aumenta la tendencia a la flexión, es la fuerza ejercida por los conductores en los postes. Casi siempre se suspenden tramos de igual longitud a ambos lados de un poste. Sin embargo, en caso de ruptura de un tramo o si hay más conductores de un lado que del otro, entonces los esfuerzos desequilibrados de tracción tienden a empujar el poste hacia un costado y lo hacen propenso a romperse o flexionarse. Tales esfuerzos disparejos se contrarrestan por medio de unos refuerzos llamados vientos.



La profundidad a la que deben enterrarse los postes en terrenos normales viene dictada por la siguiente tabla:

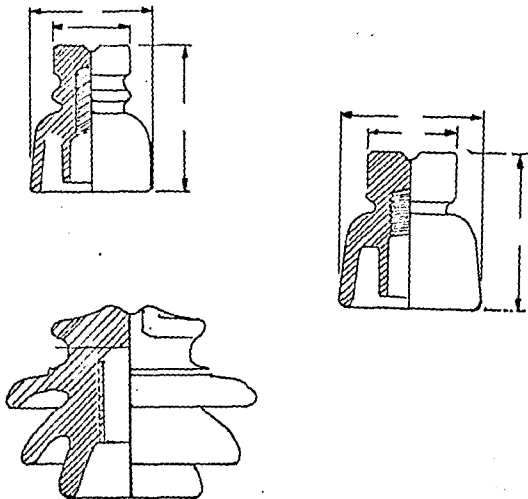
| Longitud total del poste en m. | Profundidad enterrada en m. | |
|--------------------------------|-----------------------------|--|
| | Líneas rectas | Curvas, ángulos y puntos sometidos a esfuerzos extra |
| 9.15 | 1.68 | 1.84 |
| 10.70 | 1.84 | 1.98 |
| 12.20 | 1.84 | 1.98 |
| 13.70 | 1.98 | 2.14 |
| 15.30 | 2.14 | 2.29 |
| 16.80 | 2.14 | 2.29 |
| 18.30 | 2.29 | 2.44 |
| 19.80 | 2.44 | 2.60 |
| 21.40 | 2.44 | 2.60 |
| 22.90 | 2.60 | 2.75 |

Las crucetas pueden ser de madera o de acero galvanizado. Las de madera se hacen generalmente de abeto Douglas, que es el más apropiado. Las de acero galvanizado se hacen de ángulos de acero normalizados en tres tipos. Cuestan más que las de madera pero son más duraderas y soportan cargas más pesadas. Se usan para instalaciones sujetas a esfuerzos intensos.

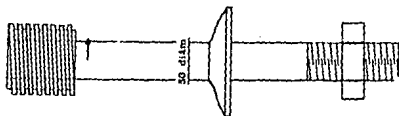
Los aisladores, como ya se mencionó, se utilizan para no dejar pasar la corriente del conductor al soporte. Los podemos clasificar de la siguiente manera:

- a. Aisladores de espiga o alfiler.
- b. Aisladores de suspensión.
- c. Aisladores de polea.
- d. Aisladores de tracción.

Los aisladores de espiga están moldeados con un agujero central roscado de modo que el aislador está atornillado en soportes instalados sobre las crucetas. Se fabrican de varias formas y tamaños y pueden utilizarse en bajo y medio voltaje.



Los soportes para los aisladores de espiga pueden ser de madera, acero, acero y plomo, o acero y madera.

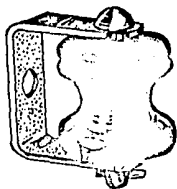


Los soportes se sujetan a las crucetas por medio de abrazaderas. La distancia que los soportes deben guardar entre sí en las crucetas debe ser tal que quede suficiente espacio para que no se produzcan arcos o chispas de un conductor a otro. También es necesaria una separación suficiente para evitar que los alambres se toquen entre un poste y otro al ser mecidos por el viento. Además, se debe dejar espacio suficiente para que los operarios puedan subir y bajar con seguridad.

Los aisladores de suspensión son los utilizados en las cadenas de aisladores y fueron estudiados anteriormente en las líneas de transmisión.

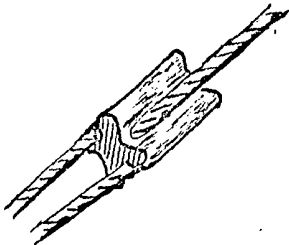
Los aisladores de polea se usan en conjuntos de conductor único o de bastidor para soportar los circuitos de baja tensión en los lados de los postes y los edificios y para conductores de acometida final.

Los conjuntos aisladores típicos de polea y de sostenedor de conductor se muestran a continuación.



Los aisladores de tracción son usados cuando la línea soporta grandes esfuerzos, aunque también son empleados con los cables que actúan como vientos cuando es necesario aislarlos para seguridad de las personas que están en tierra.

Aunque se fabrican en diversos tamaños, todos se diseñan de manera que el cable comprima la porcelana. Por lo general, este tipo de aislador consiste en un trozo de porcelana con dos agujeros perforados en ángulo recto, por los cuales se pasan los extremos de los cables, de tal manera que la porcelana ubicada entre ambos se ve comprimida.

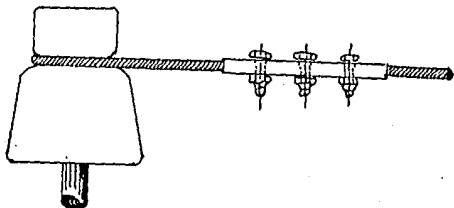
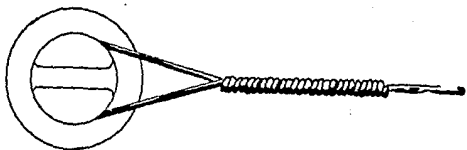
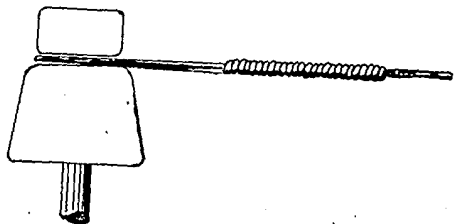


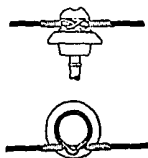
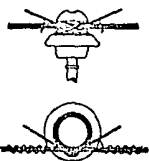
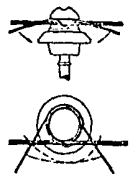
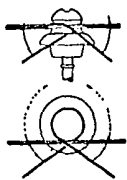
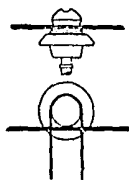
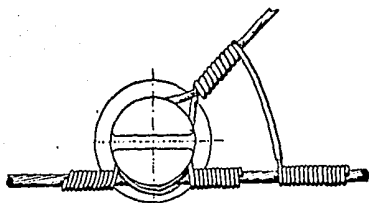
Los conductores de las líneas aéreas deben ser sujetos firmemente a los aisladores para evitar que se caigan o --suelten.

En los aisladores de espiga, los conductores suelen fijarse a la ranura superior o lateral del aislador mediante un trozo de alambre denominado ligadura. En los aisladores

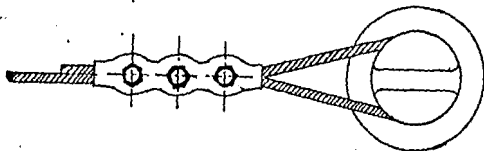
de suspensión, los conductores suelen sujetarse con una abrazadera o mordaza.

Existen diferentes tipos de ligaduras, algunas de las --
cuales son mostradas en las siguientes ilustraciones.





A veces los conductores se empalman superponiendo sus -- extremos y retorciéndolos con tres o cuatro vueltas. Sin -- embargo, para conseguir una buena conexión eléctrica y uni formidad en la terminación, es recomendable hacer los aco- plamientos con conectores mecánicos.



Además de los conductores, postes y aisladores empleados en las líneas, existen otros componentes cuyo funcionamien- to ya ha sido estudiado y que únicamente mencionaremos. Di- chos componentes son:

1. Transformador de distribución.
2. Cortacircuitos fusibles.
3. Interruptores.
4. Apartarrayos.
5. Seccionadores.
6. Reguladores de voltaje.
7. Restauradores.
8. Capacitores de potencia.

Se mostrarán, a continuación, y en forma gráfica, algu- nas líneas y sus componentes.

8.5.3 Líneas subterráneas.

Cuando por razones económicas o de índole especial las estructuras aéreas resultan inconvenientes, la energía eléctrica es transportada a través de líneas subterráneas.

En este tipo de líneas los conductores pueden ir enterrados directamente o instalados dentro de conductos especiales. Estos conductos pueden ser de fibra, plástico, hierro, compuestos de amianto o de hormigón monolítico.

Los conductos de fibra están hechos de pulpa de madera y tratada con un compuesto químico, el cual evita su putrefacción. Estos conductos permiten que los cables se coloquen en su interior fácilmente debido a que internamente son lisos y aceitosos.

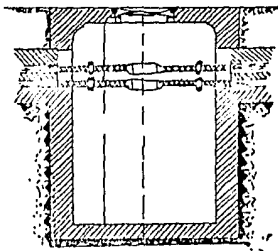
Los conductos de plástico tales como el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE) y estireno, se usan en instalaciones subterráneas debido a su bajo costo y facilidad de instalación.

El conducto de hierro proporciona a los cables mayor protección contra daños durante la excavación. El hierro dulce es preferido al acero debido a su mayor resistencia a la corrosión. Su aceptación no es general debido a su precio más elevado con respecto a otros conductos.

El conducto de compuestos de amianto denominado Transite se fabrica con fibras de amianto y cemento laminadas a presión sobre mandriles de acero. Son fuertes, altamente resistentes a la corrosión, incombustibles y no inductivos. Poseen una baja resistencia de fricción y facilitan la disipación del calor de los cables.

Los conductos de hormigón monolítico pueden construirse-

ya sea usando tubos flexibles de goma como núcleos o mediante una máquina de moldeo.



Los registros son necesarios en un sistema subterráneo para permitir la instalación, eliminación, empalme y redistribución de los cables. Un registro es sencillamente una cavidad subterránea o cámara de mampostería del tamaño adecuado para permitir la manipulación apropiada de los cables. Los conductos penetran en la cavidad, y sus dispositivos laterales se disponen por donde puedan soportar los cables en el interior del registro.

La situación de los registros está determinada principalmente por la disposición de las cargas que deben alimentarse. En general, los cables se fabrican en longitudes inferiores a 120 o 180 metros, y como es necesario colocar empalmes en los registros, la distancia entre ellos no puede exceder estos valores.

El tamaño de los registros varía según el número de conductores que deban introducirse, pero en cualquier caso debe haber suficiente espacio para poder trabajar en el registro.

Cuando los transformadores son introducidos en una cámara

ra de registro, debe aumentarse el tamaño de ésta para permitir un espacio de trabajo alrededor del transformador y para su ventilación.

Los registros se construyen de hormigón, ladrillo o de ambos materiales. Cuando se construyen muchos registros de un tamaño y no existen obstáculos subterráneos, normalmente el hormigón resulta mejor material y más barato. Pero cuando únicamente se construyen unos pocos o existen muchos obstáculos, lo ideal, tal vez, será un registro con el fondo de hormigón, las paredes de ladrillo y la parte superior de hormigón.

En el fondo de los registros puede acumularse agua. Si el suelo es normal, fácilmente se logrará un desagüe natural. Si el suelo no es perfecto, se deberá suministrar alguna forma de drenaje. Donde sea factible, debe establecerse una conexión a la red de alcantarillado desde el fondo de cada registro. En algunas zonas el suelo es tan húmedo que tiene que impermeabilizarse al máximo los registros, cubriéndose a veces con pintura impermeable.

Los conductores empleados en las líneas subterráneas deben forrarse para protegerlos contra daños mecánicos durante la instalación y contra la humedad, gases, productos químicos y otras sustancias corrosivas del suelo o de la atmósfera. Anteriormente casi todos los cables se forraban con plomo, porque éste es casi totalmente impermeable a la humedad y un buen amortiguador mecánico, pero puede ser corroído por ciertos agentes químicos. Nuevos tipos de plásticos han reemplazado al plomo que es más caro y menos flexible.

A continuación se muestran algunos conductores de un so-

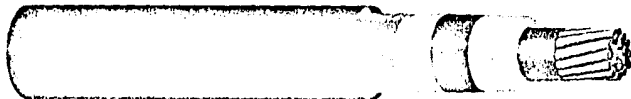
lo hilo, aunque existen también cables policonductores, es decir, formados por varios conductores contenidos en una misma vaina.



Construcción de un Cable de 1000 Volts



Construcción de un Cable de 5000 Volts

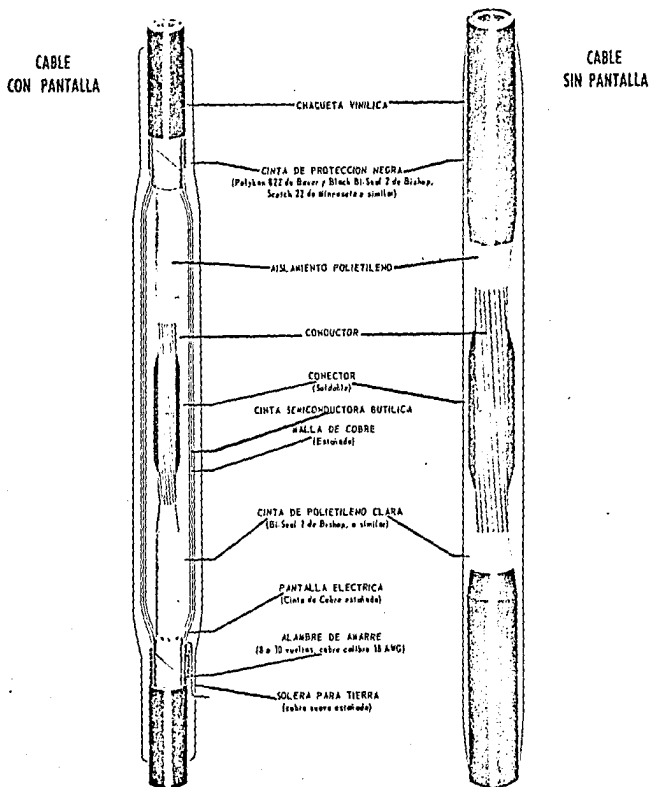


Construcción de un Cable de 8000 Volts

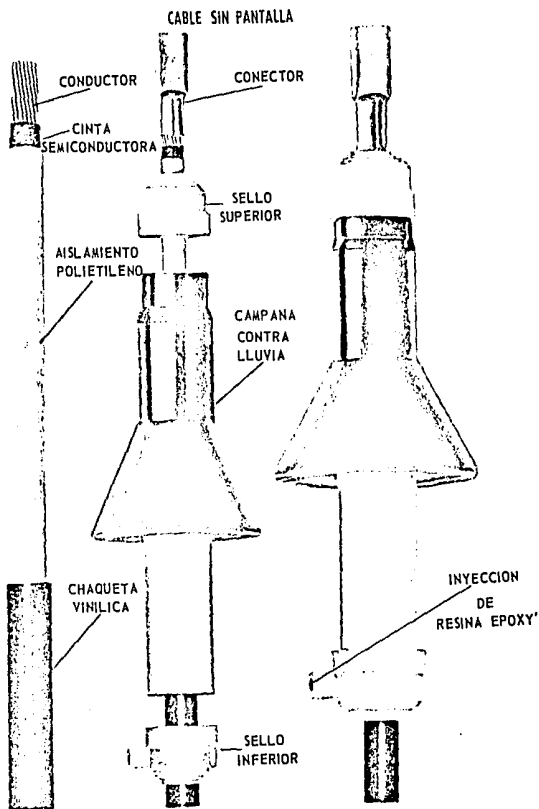
Los tramos de cables instalados en conductos subterráneos se conectan en los registros para darles continuidad. Dicha conexión se denomina unión o empalme. Cuando se hacen empalmes o uniones en cables enterrados directamente, el empalme también puede ser enterrado en forma directa, o

bien protegerse mediante una caja circundante.

Cuando se emplean cables con aislación y forro de plástico, en los empalmes pueden emplearse cubrejuntas aislantes prefabricadas.



Al término de una línea subterránea, ésta debe ser conec-
tada con el sistema aéreo. Dicha conexión se realiza por -
medio de terminales especiales para este propósito, algu-
nas de las cuales se muestran en las siguientes gráficas.

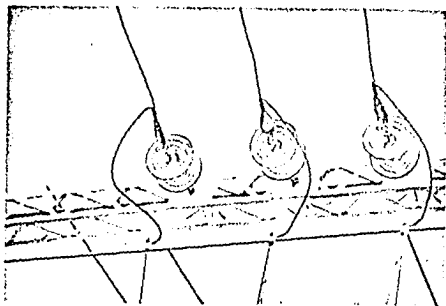


8.6 ACOMETIDAS.

El circuito entre la línea de la compañía suministradora y la instalación del usuario se denomina acometida. La acometida es el conjunto de conductores que se derivan de la red secundaria y se conecta a la instalación del usuario.

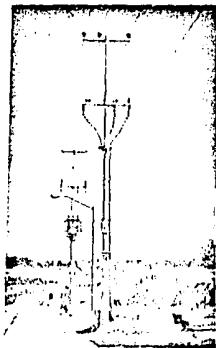
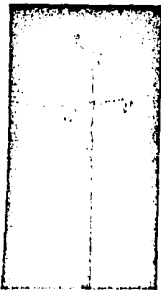
Una acometida aérea se compone de dos o más conductores que se extienden desde el poste portador hasta un punto de la vivienda o instalación del consumidor. Los conductores pueden estar revestidos de aislante y estar retorcidos o colocados dentro de un cable; también pueden estar desnudos y protegidos contra la intemperie. Este último tipo se conoce como cable de acometida al descubierto y en tales instalaciones los conductores se sostienen con aisladores y soportes. En la mayoría de los casos, los conductores tienen por lo general un apoyo para que el empalme o la conexión no soporte ningún esfuerzo de tracción.

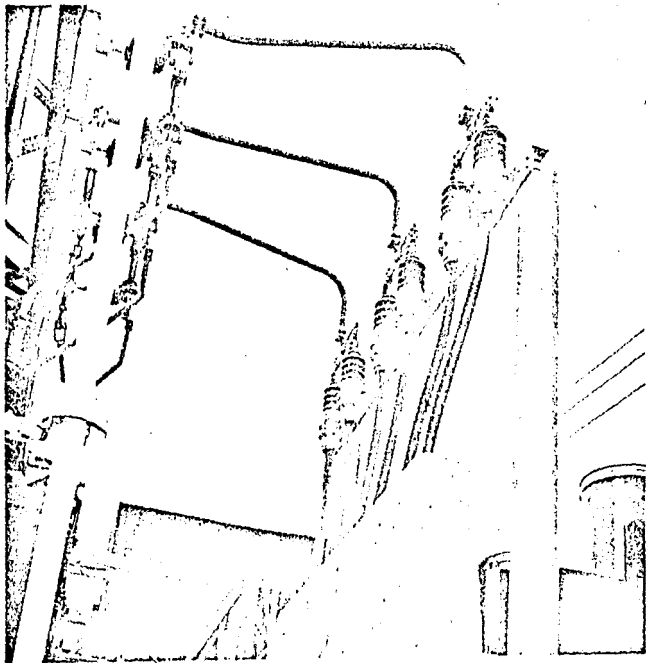
Cabe hacer la aclaración que en las industrias en donde el suministro es a voltajes elevados, los conductores de acometida se derivan de la red primaria de distribución.



Las acometidas subterráneas están formadas por cables forrados con plástico o plomo que se extienden desde un punto de la instalación del usuario hasta las líneas de canalización donde se conectan.

Las acometidas subterráneas, como las aéreas, pueden estar compuestas por cables de dos o más conductores o un solo cable monoconductor. Estos cables de acometidas suelen instalarse en un conducto de acero o cemento, por lo menos en el tramo correspondiente a la instalación del usuario, por razones de seguridad.





CAPITULO 9

ALUMBRADO

Durante muchos siglos, las actividades del hombre encaminadas a su desarrollo y subsistencia fueron realizadas en base a la fuente luminosa principal que poseemos: el sol. Sin embargo, la civilización actual se mueve a un ritmo en el cual no puede depender del sol como única fuente.

La electricidad ha estado íntimamente relacionada con la iluminación, tanto así, que una de las primeras aplicaciones importantes y de gran magnitud lo fue la instalación de la red de alumbrado de la ciudad de Nueva York en 1881, la cual fue supervisada por Edison.

A partir de entonces se han desarrollado fuentes luminosas alimentadas con electricidad y se han diseñado métodos para hacer posible una visibilidad óptima en las diarias actividades del hombre actual, todo lo cual será expuesto en este capítulo.

9.1 PRINCIPIOS Y UNIDADES.

Iniciaremos nuestro estudio del alumbrado definiendo el factor más importante que interviene en él: la luz.


La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de afectar al ojo humano. Esa energía visible es solamente una parte del llamado espectro electromagnético, el cual está formado por todas las radiaciones electromagnéticas existentes, las cuales son similares en su naturaleza y se propagan por el espacio a la velocidad aproximada de 300,000 km por segundo. La diferencia entre unas y otras es tan solo en frecuencia

longitud de onda y forma de manifestarse.

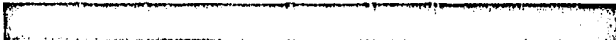
El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones que están dentro del rango comprendido entre los 3,800 y 7,600 - Angstroms de longitud de onda. Esa parte del espectro electromagnético forma lo que conocemos como espectro visible.

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

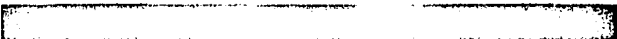
| <i>Tipo de radiación</i> | <i>Longitud de onda en el aire o en el vacío (metros)</i> | <i>Frecuencia (por seg)</i> |
|--------------------------|---|---|
| Rayos gamma | menos que 10^{-10} | más de 10^{18} |
| Rayos X | 10^{-11} a 10^{-8} | 3×10^{16} a 3×10^{19} |
| Ultravioleta | 10^{-8} a 3.8×10^{-7} | 8×10^{14} a 3×10^{16} |
| Luz visible | 3.8×10^{-7} a 7.5×10^{-7} | 4×10^{14} a 8×10^{14} |
| Infrarrojo | 7.5×10^{-7} a 10^{-4} | 3×10^{12} a 4×10^{14} |
| Ondas de radio | de unos pocos mm a miles de metros | menos de 10^{13} |



Espectro luminoso de una lámpara fluorescente.



Espectro luminoso de una lámpara de vapor de mercurio.



Espectro luminoso de una lámpara de wolframio.

Los extremos del espectro visible se conocen como regiones infrarroja (por debajo del rojo) y ultravioleta (por debajo del violeta). Ni las radiaciones infrarrojas ni las ultravioletas son visibles para el ojo humano, mas sin embargo, se aplican en alumbrado.

El color de la luz está determinado por su longitud de onda, es decir, el color que percibimos depende de la longitud de onda de la luz que llega al ojo. Existen tres colores primarios de luz: rojo, verde y violeta. La luz violeta tiene menor longitud de onda, el rojo la mayor y el verde una longitud intermedia entre violeta y rojo. La luz de cualquier otro color puede producirse por la combinación de los tres colores primarios.

Los rayos de luz se propagan en línea recta, a menos que algún medio los absorba o desvíe. Cuando una onda luminosa incide sobre un medio distinto a aquel en el que se está propagando, pueden ocurrir tres fenómenos fundamentales:

- a. Absorción.
- b. Reflexión.
- c. Refracción.

A continuación analizaremos brevemente cada uno de estos fenómenos.

- a. Absorción.

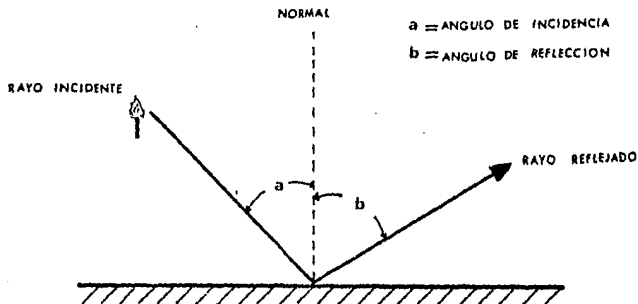
Cuando un rayo luminoso incide sobre un objeto, parte de la energía es absorbida. Esa cantidad varía dependiendo de la naturaleza del objeto, de su estructura atómica, de la longitud de onda de la luz incidente y del ángulo con que incide sobre la superficie del objeto. Como no todos los objetos absorben la luz de diferentes longitudes de onda -

en la misma proporción, el color de los objetos varía dependiendo de ese factor.

Las superficies claras solo absorben una pequeña cantidad de luz, las superficies oscuras la mayor parte y las superficies negras absorben casi la totalidad de la luz -- que reciben. La energía absorbida por los objetos es transformada en calor, la restante puede ser transmitida en su totalidad a través del objeto, reflejada totalmente o en parte reflejada y en parte transmitida.

b. Reflexión.

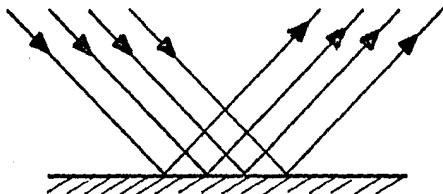
Llamamos reflexión de la luz al cambio de dirección experimentada por los rayos luminosos al incidir sobre la superficie de un cuerpo.



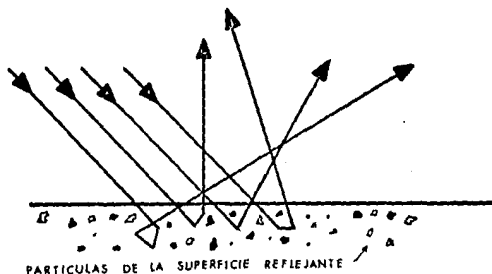
Los tipos de reflexión que existen son: regular o espejular, difusa y dispersa.

En la reflexión regular, el ángulo de incidencia es igual el ángulo de reflexión. Se obtiene con espejos, cris-

tales prismáticos y superficies metálicas pulimentadas.



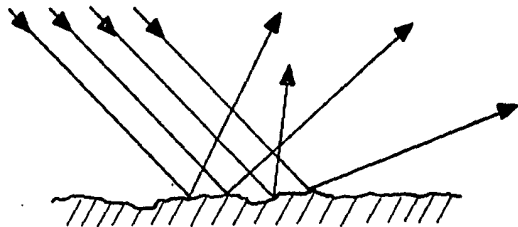
La reflexión difusa es aquella en la que la mayor parte de la luz reflejada lo hace perpendicularmente a la superficie reflejante, y es provocada por la reflexión de partículas situadas bajo la superficie. La reflexión difusa es obtenida con cristales opalescentes, esmalte de porcelana y pinturas usadas en paredes y techos.



La reflexión dispersa es aquella en la cual la mayor parte es reflejada en forma regular, mas sin embargo, una parte es desviada ligeramente de su dirección.

Se presenta en cristales prismáticos rayados y en super-

ficies metálicas rugosas.

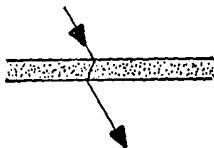


c. Refracción.

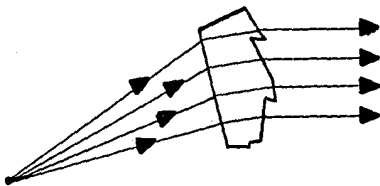
Se conoce por refracción a la alteración producida en la dirección de un rayo de luz cuando pasa de un medio a otro distinto, ya sea de mayor o menor densidad.

Dependiendo de la naturaleza del medio y del estado de su superficie, la refracción puede ser: regular, irregular o dispersa, y difusa.

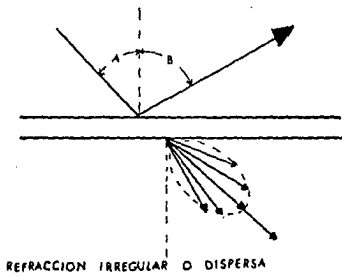
VIDRIO PLANO



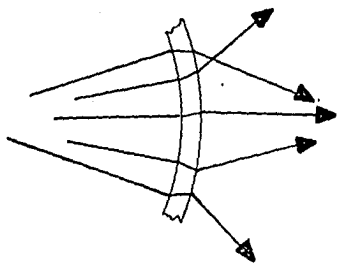
PRISMA



REFRACCION REGULAR



REFRACCION DIFUSA



La luz y el ojo humano son los componentes básicos en el proceso de la visión. Hemos definido la primera y estudiado algunas de sus características más importantes. El estudio de la estructura y funcionamiento del ojo humano será dejado a los cursos de Biología correspondientes, mas sin embargo, hablaremos únicamente de las características visuales de dicho órgano. Estas son:

- a. Acomodación.
- b. Adaptación.
- c. Sensibilidad.

a. Acomodación.

Se define como la capacidad que tiene el ojo para ajustarse automáticamente a las diferentes distancias de los objetos obtener en esa forma una imagen nítida.

b. Adaptación.

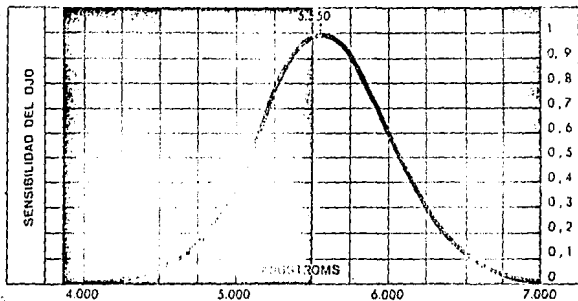
Es la capacidad del ojo para adaptarse automáticamente a los diferentes niveles de iluminación. El tiempo requerido para este proceso depende en gran parte de la magnitud del cambio. En términos generales, la adaptación a un nivel -- más alto de iluminación se lleva a cabo más rápidamente -- que si sucediera en forma inversa. Es decir, tardaremos me nos tiempo en acostumbrarnos a la claridad cuando salimos de un lugar oscuro, que si de la claridad penetramos a un sitio menos claro u oscuro.

c. Sensibilidad.

El ojo no es igualmente sensible a la luz de todas las longitudes de onda o colores. La máxima sensibilidad del ojo corresponde a la mitad del espectro visible (5,500 Angstroms), que es la longitud de onda correspondiente al amarillo verdoso, mientras que la sensibilidad de los extremos azul y rojo del espectro es muy baja.

La sensibilidad del ojo a la luz de diferentes longitudes de onda se expresa por la siguiente gráfica llamada curva de sensibilidad del ojo, y que es mostrada en la página siguiente.

Temperatura de color es un término usado a menudo para describir el color de la luz de una fuente comparándolo con el color de un cuerpo negro, definido como un "radiador perfecto" ideal, capaz de absorber toda radiación que-



Curva de sensibilidad para el ojo humano

incide sobre él y de radiar a su vez energía en todas las regiones del espectro. Para comparar la luz de una fuente cualquiera con la de un cuerpo negro, se le aplica energía hasta que iguale la luz de la fuente. Entonces, la temperatura a la que llegue el cuerpo negro será la temperatura de color de la fuente.

La temperatura de color no es una medida de la temperatura real de un objeto. Define únicamente el color. Algunas fuentes luminosas tienen un color que no puede ser producido por el cuerpo negro a ninguna temperatura, y por lo tanto, no se les asigna valor de temperatura de color a dichas fuentes.

9.1.1 Fotometría.

La fotometría es la parte de la física que trata de la -

medición de la luz. Las cuatro magnitudes fundamentales de de finidas por la fotometría son las siguientes:

- a. Intensidad luminosa.
- b. Flujo luminoso.
- c. Iluminación.
- d. Luminancia o brillo.

A continuación, hablaremos sobre cada una de ellas, así como de sus unidades correspondientes.

- a. Intensidad luminosa. (I)

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección determinada, es una medida de la capacidad de la fuente para proyectar luz en esa dirección. Se dice también, - que es la densidad de luz en una dirección determinada. Su unidad es la candela (cd).

La candela es la cantidad física básica internacional en todas las medidas de luz, ya que las demás unidades son de rivadas de ella. Se determina su valor por la luz emitida por un patrón de laboratorio llamado cuerpo negro, trabajando a una temperatura específica. Una vela corriente decera tiene una intensidad luminosa de aproximadamente una-candela, medida en dirección horizontal.

La intensidad luminosa horizontal es la intensidad luminosa medida en un punto cualquiera de un plano horizontal- que pase por el centro luminoso de una fuente.

La intensidad luminosa media horizontal, es el promedio- de las intensidades luminosas de una lámpara en todas direcciones de un plano horizontal. Este término es aplicado únicamente a lámparas especiales usadas en trabajos de laboratorio.

La intensidad luminosa media esférica es el promedio de las intensidades luminosas de una lámpara en todas direcciones. Se mide colocando la lámpara en el centro de un fotómetro esférico. Un fotómetro es un instrumento usado para determinar la intensidad luminosa en candelas de una -- fuente cualquiera.

b. Flujo luminoso. (ϕ)

El flujo luminoso es la radiación visible total emitida por una fuente de luz, es decir, la cantidad de energía radiante medida de acuerdo a la sensación visual que produce. Su unidad es el lumen (lm).

Un lumen es el flujo de luz que incide sobre una superficie de 1 metro cuadrado, la totalidad de cuyos puntos -- diste 1 metro de una fuente puntual teórica que tenga una intensidad luminosa de 1 candela en todas direcciones. Esta superficie es una sección de 1 metro cuadrado de una esfera de 1 metro de radio, en cuyo centro se encuentra una fuente puntual uniforme de una candela.

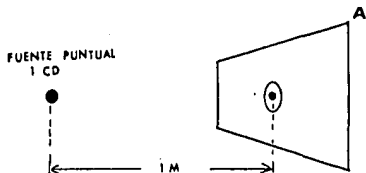
Una fuente luminosa puntual es un punto matemático que emite luz uniformemente en todas direcciones. Es un concepto teórico, utilizado sin embargo para el establecimiento del sistema de unidades y cantidades usadas en los cálcu-- los de iluminación.

La diferencia entre el lumen y la candela reside en que el lumen es una medida del flujo luminoso, independiente-- mente de su dirección.

c. Iluminación. (E)

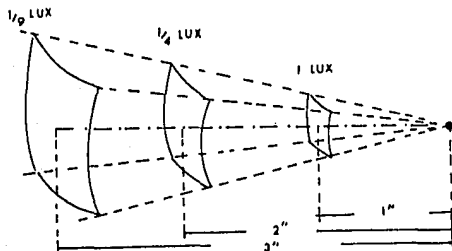
La iluminación es la densidad de flujo luminoso que incide sobre la superficie iluminada. Su unidad es el lux (lx).

Un lux es la iluminación en un punto sobre una superficie que dista, en dirección perpendicular, un metro de una fuente puntual de una candela.



A partir de la definición de lumen, un flujo luminoso de 1 lumen sobre un área de un metro cuadrado produce una iluminación media de 1 lux sobre esta superficie.

La iluminación que desde una fuente incide sobre una superficie varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente. A esto se le conoce como Ley de la inversa de los cuadrados, y aunque es válida para una fente puntual, lo es también si la distancia es diez o más veces la dimensión máxima de la fuente luminosa.



Las mediciones de la iluminación se efectúan por medio de un aparato llamado luxómetro, el cual está construido con celdas fotoeléctricas y un mecanismo de medición calibrado en lux.

d. Luminancia o brillo. (B)

La luminancia, más comúnmente conocida como brillo, es la propiedad de los objetos iluminados que les permite ser vistos en virtud de la luz que procede de ellos. Técnica--mente, es la densidad de flujo luminoso emitido desde alguna superficie iluminada o de alguna fuente. El brillo puede ser expresado en candelas por unidad de superficie o en lúmenes por unidad de superficie.

Una superficie que emite o refleja luz en una dirección--determinada a razón de una candela por centímetro cuadrado de área proyectada tiene un brillo de 1 stilb.

Un lambert es el brillo de una superficie que emite o reflaja un lúmen por centímetro cuadrado. Si la unidad de área es el pie cuadrado, la unidad recibe el nombre de foot lambert.

Las luminancias relativamente altas, tales como las de las fuentes de luz, se expresan normalmente en stilbs. El footlambert es la unidad utilizada en los países de habla inglesa.

El deslumbramiento se define como el brillo dentro del campo visual de un carácter tal que provoca molestia, incomodidad, interferencia visual o fatiga del ojo. El deslumbramiento puede ser: directo, de contraste y de reflexión.

El deslumbramiento directo resulta de la observación directa de una fuente luminosa brillante.

El deslumbramiento de contraste es provocado por contra

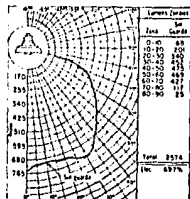
te de brillo. Para entender este tipo de deslumbramiento, tomemos, por ejemplo, el que producirán los faros de un automóvil en una noche oscura si inciden sobre los ojos de una persona. Los mismos faros no provocarán molestia alguna a la luz del día. La molestia experimentada se debe al contraste entre los faros brillantes y los alrededores oscuros.

El deslumbramiento de reflexión es el provocado por la luz reflejada directamente a los ojos desde una superficie pulimentada blanca o de color claro. Este tipo de deslumbramiento lo provocan las placas de vidrio sobre las mesas o escritorios, los muebles demasiado encerados y los espejos.

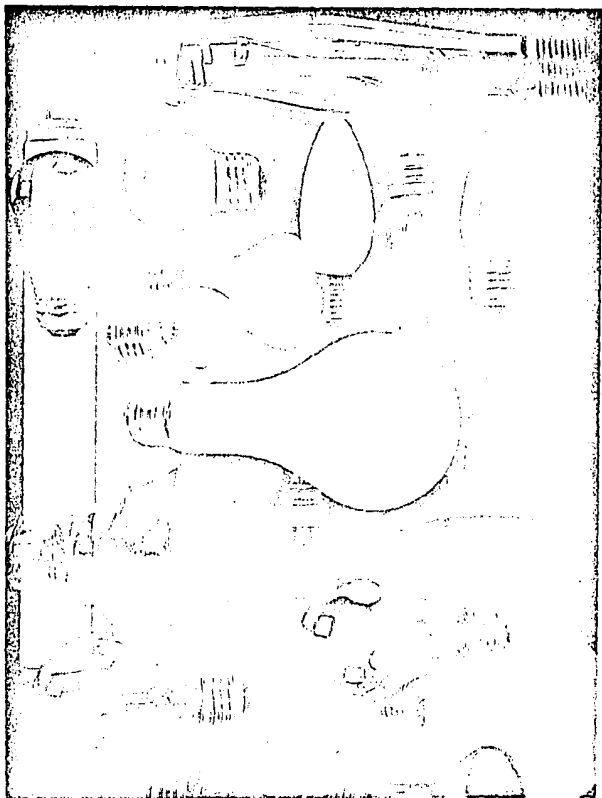
9.1.2 Curvas de distribución.

La intensidad luminosa se emplea no solo para indicar la intensidad de una fuente en una determinada dirección, sino que frecuentemente se toman medidas desde distintos ángulos alrededor de la fuente y se representan gráficamente los resultados para obtener la curva de distribución luminosa. Esta curva muestra la intensidad luminosa en cualquier dirección, y a partir de ella pueden hacerse cálculos de iluminación.

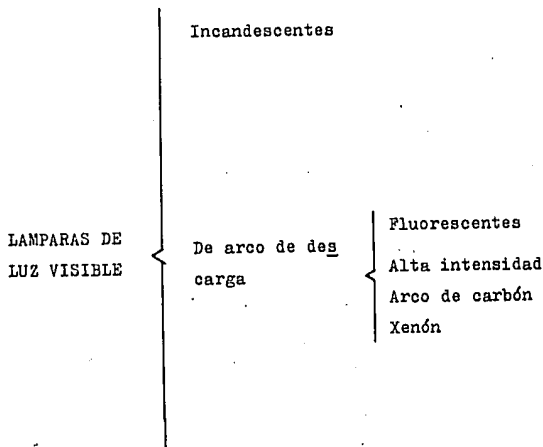
CURVA DE DISTRIBUCION.



9.2 FUENTES DE LUZ. CLASIFICACION.



Una fuente de luz o lámpara eléctrica es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía luminosa. Una clasificación general sería la siguiente:



LAMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA

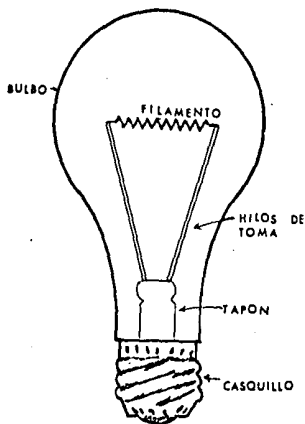
LAMPARAS DE RAYOS INFRARROJOS

El rendimiento o coeficiente de eficiencia luminosa (η) nos indica el flujo que emite una fuente de luz por cada u nidad de potencia eléctrica consumida. Se expresa en lúmenes por vatio. Una fuente teórica de luz blanca de rendi--

miento máximo que emite solo energía visible sin radiaciones ultravioletas o infrarrojas, produciría unos 200 lúmenes por vatio. En la práctica, ninguna lámpara se aproxima al rendimiento máximo teórico, ya que producen cantidades considerables de infrarrojos y existen pérdidas de energía.

9.3 LAMPARAS INCANDESCENTES.

Este tipo de lámparas posee un filamento de material conductor con un elevado punto de fusión, montado sobre un bulbo o bombilla y provisto de una base para su conexión eléctrica apropiada. Al circular una corriente eléctrica por el filamento, éste se calienta a una temperatura tan elevada que emite luz por incandescencia. Las partes de una lámpara de filamento son mostradas en la siguiente ilustración.



De las partes mostradas, podemos decir que tres son las partes principales de cualquier lámpara de filamento: el bulbo, la base y el filamento.

A. Bulbos.

El tamaño y la forma de los bulbos es determinada por la aplicación que se le dará a la lámpara.

La mayor parte de los bulbos de las lámparas de alumbrado general están hechas de cristal blando. Cuando se requieren lámparas para servicios especiales, se construyen los bulbos con cristal duro o resistentes al calor, en lugares donde la lluvia o la nieve puedan estar en contacto con el bulbo caliente. El cristal duro es también necesario para lámparas que trabajarán a temperaturas más altas que las de servicio general. Recientemente se han construído lámparas con bulbos de cuarzo para aplicaciones especiales.

El tamaño y la forma de los bulbos se expresa mediante letras y números. Las letras indican la forma del bulbo y los números el diámetro en octavos de pulgada. La siguiente tabla nos muestra las letras usadas para la designación de la forma de los bulbos.

| FORMA DEL BULBO | LETRA CON QUE SE DESIGNA |
|-----------------|--------------------------|
| Stándard..... | A |
| Candelabro..... | C |
| Llama..... | F |
| Globular..... | G |
| Parabólico..... | PAR. |
| Pera..... | P o PS |

| | |
|----------------|----|
| Reflector..... | R. |
| Cónico..... | S |
| Tubular..... | T |



De acuerdo a la nomenclatura utilizada, una lámpara T-19 es una lámpara con bulbo tubular que tiene un diámetro de $19/8$ de pulgada.

El acabado de los bulbos puede ser:

- a. Transparente.
- b. Esmerilado.
- c. Globo blanco.
- d. Globo plateado.
- e. Blanco de lujo.
- f. Luz solar.
- g. Coloreado exterior.
- h. Coloreado interior.
- i. Vidrio de color.

En las lámparas transparentes, el bulbo está hecho de vidrio transparente que hace que el filamento sea visible. - Estas lámparas son usadas con equipo reflector que oculta completamente la lámpara de la vista.

Las lámparas esmeriladas tienen la superficie interior del bulbo revestida con un esmerilado que se obtiene aplicando un ácido a la superficie interior del bulbo. Este acabado oculta el filamento brillante y hace que la luz emitted por la lámpara sea difusa. Las lámparas esmeriladas se usan con reflectores abiertos y también en lugares donde no se emplea equipo reflector.

Las lámparas de globo blanco tienen la parte inferior -- del bulbo pintada interiormente con esmalte blanco. Esto aumenta el tamaño de la fuente luminosa visible cuando se observa desde abajo, con lo que se reduce el brillo aparente y se difunden los rayos luminosos reduciéndose el deslumbramiento. El acabado de globo blanco es uno de los empleados generalmente en lámparas de tamaño superior a 100-watios cuando se usan con reflectores de fondo abierto.

Las lámparas de globo plateado tienen un revestimiento -

de plata en la mitad inferior del globo, que oculta el filamento brillante y constituye una superficie reflejante - de alto rendimiento para la iluminación indirecta. Este tipo de lámparas son empleadas en aplicaciones de alumbrado - en almacenes para proporcionar iluminación directa intensa sobre mostradores, áreas de exhibición o escaparates.

Las lámparas blancas de lujo tienen la superficie interior enteramente recubierta con un fino revestimiento de silicón. Este revestimiento proporciona un alto grado de - difusión que reduce las reflexiones brillantes.

Las lámparas de luz solar tienen un bulbo azul fabricado con un vidrio especial azul verdoso. El vidrio absorbe parte de los rayos rojizos emitidos por el filamento dando una luz resultante que se aproxima a la blancura de la luz solar del mediodía. Estas lámparas se usan en escaparates - y en otras aplicaciones en donde es deseable color de luz solar, sin embargo, han sido desplazadas por las lámparas fluorescentes en virtud de su precio y rendimiento.

La luz coloreada en las lámparas incandescentes es producida por sustracción, mediante un bulbo que absorbe luz de todos los colores menos del previsto. La mayoría de los -- bulbos coloreados se obtienen aplicando una capa de pigmento a la superficie interior o exterior de un bulbo transparente, o también, fundiendo un esmalte en la superficie exterior, en lo que vendría siendo un revestimiento cerámico.

Los colores de uso más común son el rojo, azul, verde, amarillo, naranja, marfil, color flama y blanco. Se emplean en iluminación decorativa o de exhibición. Los bulbos coloreados interiormente pueden ser usados en interiores o ex-

teriores. Los coloreados exteriormente se recomiendan para usos donde estén protegidos de la intemperie, ya que los - revestimientos no son permanentes.

Las lámparas de vidrio de color se fabrican añadiendo -- productos químicos a los ingredientes del vidrio. Se fabri- can en colores azul cielo, azul, ámbar, verde y rubí. La - luz coloreada producida por ellos dá colores más puros que las de revestimiento, y son empleadas con frecuencia en -- teatro y fotografía.

B. Bases.

La función de la base en una lámpara incandescente es co- nectar el bulbo con el portalámparas. Los tipos de bases - existentes son:



DISCO



CANDELABRO



INTERMEDIA



MEDIA



MOGUL



BAYONETA



MEDIO
PREFOCAL



MOGUL
PREFOCAL



MEDIO
2 PATILLAS



MOGUL
2 PATILLAS



MOGUL
3 CONTACTOS



MEDIO CON
MAGUITO

Las bases de tipo bayoneta, candelabro e intermedia, se emplean en las lámparas de pequeño tamaño. La base de tipo media es usada en lámparas para servicio general de hasta 300 vatios. La base tipo Mogul se usa para lámparas con potencias mayores a los 300 vatios. La base supermedia es de diámetro ligeramente mayor que la media y se usa en algunas lámparas de mercurio. La base de tres contactos se usa en las lámparas del tipo de tres luces. La base de disco es empleada en las lámparas lumiline.

Las bases media y mogul prefocales se usan en ciertos tipos de lámparas empleadas en la proyección de películas y en el servicio de aviación, en las que es conveniente tener el foco luminoso perfectamente orientado. La base media de dos patillas se fabrica en tamaños de lámpara de 500, 750 y 1,000 vatios, para usarlas en accesorios independientes permitiendo un diseño mejor y una radiación de calor óptima. Para lámparas de tamaños muy grandes con potencias superiores a los 1,500 vatios, normalmente se usa el tipo mogul de dos patillas.

C. Filamentos.

El filamento es el encargado de la producción de luz en las lámparas incandescentes, y las consideraciones hechas-

en su proyecto influyen en el funcionamiento de las mismas. La potencia de una lámpara es igual al producto del voltaje de alimentación por la intensidad de la corriente que circula por el filamento.

En la construcción de los filamentos, el punto de fusión del material usado es muy importante, ya que a mayor temperatura, mayor es la porción de energía radiante que cae dentro del espectro visible. El carbón, cuyo punto de fusión es más alto que el del tungsteno, fue usado en un principio pero después reemplazado por este último, ya que a temperaturas elevadas el carbón se evapora con relativa facilidad. El tungsteno combina un alto punto de fusión y una lenta evaporación, razón por la cual es el material empleado en los filamentos de las lámparas incandescentes.

Las formas de los filamentos empleados se designan por una o más letras seguidas de un número y éste por otra letra que indica la disposición del filamento sobre los soportes. Si la primera letra es una S, el hilo es recto; si es una C, el hilo está arrollado en espiral; si tiene las letras CC, el hilo está arrollado en espiral, y ésta, arrollada otra vez según una nueva espiral; la R representa un hilo plano o en forma de cinta. Los números que le siguen indican la forma general del filamento y al igual que la última letra, su asignación es arbitraria.

En un principio, las lámparas incandescentes eran fabricadas al vacío, esto es, eliminando ante todo el oxígeno en el interior del bulbo para evitar que se quemase el filamento. Posteriormente se observó que la presión que ejercía sobre el filamento un gas inerte introducido en el bulbo retardaba la evaporación del filamento. En la actualidad encontramos lámparas de vacío en aplicaciones especia-

les aunque la casi totalidad están rellenas de gas.

Los gases más usados en la fabricación de lámparas son - el argón y el nitrógeno. Algunas lámparas solo emplean nitrógeno mientras que otras utilizan mezclas de ambos, variando las proporciones de acuerdo al tipo de lámpara y al servicio para el cual se destinará.

De acuerdo a lo anterior, las lámparas de vacío se designan como de tipo B y las de relleno de gas como tipo C.

El filamento de tungsteno cuando es calentado hasta la incandescencia se vuelve suave y flexible, y se puede torcer o romper si se somete a la lámpara a sacudidas y vibraciones mientras está en funcionamiento. Las vibraciones son un enemigo para el funcionamiento correcto de una lámpara, debido a lo cual deberá ser protegida de ellas en la mejor forma posible. Existen en el mercado enchufes e instalaciones diseñadas para proteger las lámparas absorbiendo las vibraciones. Cuando no sea posible eliminar las vibraciones por estos medios, se utilizan lámparas especiales llamadas contra vibración, las cuales están provistas de soportes de filamento apropiados. Estas lámparas no deben emplearse nunca en lugares donde puedan recibir fuertes sacudidas. Existen también lámparas diseñadas para soportar sacudidas frecuentes y son conocidas como lámparas de servicio duro, las cuales cuentan con un tipo especial de filamento resistente a los golpes.

Tan importantes como las tres partes principales estudiadas anteriormente, lo son las características de las lámparas de filamento. Estas son:

- a. Dimensiones físicas.
- b. Flujo luminoso y tiempo de vida.

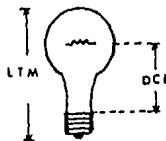
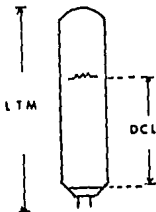
- c. Posición de funcionamiento.
 - d. Temperaturas del bulbo y de la base.
 - e. Funcionamiento con voltaje mayor o menor que el nominal.
- a. Dimensiones físicas.

El diámetro de las lámparas que viene dado en octavos de pulgada y que ya ha sido mencionado, no es la única dimensión importante de una lámpara incandescente, ya que existen, también, otras dos dimensiones de igual importancia: - la máxima longitud total de la lámpara y la distancia del centro de luz.

La longitud total de una lámpara se mide desde el final del casquillo hasta el extremo opuesto del bulbo. Dicha longitud es máxima, es decir, la longitud de la lámpara no debe exceder ese valor, pudiendo ser menor.

La distancia del centro de luz se mide desde el centro de la fuente luminosa hasta un punto determinado de la base y que varía en su posición de acuerdo al tipo de base utilizada.

LTM = LONGITUD TOTAL MAXIMA
 DCL = DISTANCIA CENTRO DE LA LUZ



La información referente a las dimensiones físicas de una lámpara son proporcionadas por el fabricante y es necesaria en el proyecto de una instalación de alumbrado.

b. Flujo luminoso y tiempo de vida.

Se entiende por tiempo de vida de una lámpara al número total de horas de funcionamiento antes de que su potencia luminosa se reduzca a un 80% de su valor inicial, a menos que la lámpara quede fuera de servicio por la rotura del filamento o alguna otra causa. El número de horas de encendido antes de quedar inútil el filamento recibe el nombre de duración total de una lámpara.

La vida promedio de las lámparas normales de alumbrado general varía desde 750 horas para algunas, 1,000 para otras y hasta 2,500 horas para ciertos tipos y tamaños. El tiempo de vida de las lámparas es especificado por el fabricante.

El flujo luminoso de una lámpara así como el tiempo de vida están íntimamente relacionados entre sí, ya que ambos dependen de la temperatura del filamento. A mayor temperatura, mayor es el rendimiento pero es más corta la vida de la lámpara. El diseño de las lámparas para una vida larga es hecho a expensas de la cantidad de luz emitida y el realizado para una alta emisión de luz, lo es a expensas del tiempo de vida. En la práctica, se trata de lograr un equilibrio económico entre estos dos factores.

c. Posición de funcionamiento.

Las lámparas para el servicio de alumbrado general pueden funcionar en cualquier posición salvo muy pocas excepciones. No obstante, en las lámparas tipo C el mantenimien

to de la iluminación es mejor cuando lucen con la base hacia arriba, ya que el polvillo negro del tungsteno es arrastrado por el gas y depositado en el área del tubo adyacente a la base, en donde la luz ya es parcialmente interceptada por el casquillo y el portalámparas. Si la lámpara está funcionando con la base hacia abajo, el polvillo es depositado en el globo del bulbo produciendo una reducción mucho mayor en la emisión luminosa. Las lámparas que funcionan en forma horizontal son afectadas de manera similar.



Cierto tipo de lámparas, en especial las de proyección, se diseñan para usarse en una determinada posición, la cual es especificada en los datos proporcionados por el fabricante. Si se coloca ese tipo de lámparas en posición incorrecta, el filamento puede aflojarse, cortocircuitarse o quedar debajo de una parte del cristal que puede ablandarse por el calor.

d. Temperaturas del bulbo y de la base.

El diseño y fabricación de una lámpara se realiza tomando en cuenta la temperatura a la cual estarán sometidos --

tanto el bulbo como la base, mas sin embargo, al trabajarla lámpara en condiciones anormales tales que produzcan una temperatura demasiado elevada, se podría provocar la fusión del bulbo o hacer que el cemento que une la base con el bulbo se ablande y se desprendan ambos. Podrían producirse, en casos extremos, daños en el enchufe y conductores inmediatos.

La siguiente tabla nos muestra las temperaturas máximas de funcionamiento para bulbos y bases. Dichos valores son aproximados.

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Bulbo de vidrio blando..... | 300°C |
| Bulbo de vidrio duro..... | 435-475°C |
| Base cementada | |
| Normal..... | 175°C |
| Especial para alta temperatura.. | 230°C |
| Base mecánica..... | 225°C |
| Base de dos patillas..... | 285°C |

Las lámparas llenas de gas alcanzan temperaturas más altas en los bulbos que las de vacío, razón por la cual estas últimas son preferidas para usarse a la intemperie en lugares donde la nieve o la lluvia puedan romper el bulbo caliente. Para estas mismas condiciones son empleadas lámparas de relleno de gas con bulbos de vidrio duro o resistentes al calor.

e. Funcionamiento con voltaje mayor o menor que el nominal.

Si una lámpara es puesta en funcionamiento con un voltaje mayor que el nominal, va a consumir mayor potencia y es

to dará por resultado una mayor emisión de luz pero acortando la vida de la lámpara. Si por el contrario, funciona con un voltaje menor que el nominal, se incrementa el tiempo de vida pero disminuye el rendimiento y la cantidad de luz emitida.

Resulta, pues, económicamente importante mantener el voltaje apropiado para obtener los mejores resultados de las lámparas en cualquier instalación de alumbrado.

De acuerdo al tipo de servicio que presten las lámparas incandescentes se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Lámparas para servicio de alumbrado general.
2. Lámparas para altas y bajas tensiones.
3. Lámparas proyectoras y reflectoras.
4. Lámparas de escaparate y "Lumiline".
5. Lámparas de halógeno.
6. Lámparas de luz concentrada.
7. Lámparas de luz difusa.
8. Lámparas de proyección.

La información detallada de las lámparas mencionadas anteriormente puede encontrarse en los manuales especializados como lo son el de Westinghouse y Philips. Extraemos de el primero una pequeña tabla para poder reafirmar los conocimientos adquiridos y familiarizarnos con la información proporcionada por los fabricantes.

En la tabla que aparece en la página siguiente se muestran los datos para lámparas de filamento para servicio general de alumbrado, por una parte, y datos de lámparas proyectoras y reflectoras.

| LAMPARAS DE TIPO DE FILAMENTO PARA TENSIÓN NORMAL | | | | | | | | |
|---|-------|-----------|--------------------------|----------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| SERVICIO GENERAL DE ALUMBRADO | | | | | | | | |
| Vatios | Bulbo | Acabado | Cavijillo | Luminosidad total máxima (lm/m²) | Filamento | Edad normal media (horas) | Flujo luminoso en el eje (lm/m²) | Flujo luminoso medio (lm/m²) |
| 25 | A 18 | I.F. | Medio | 100 | C 9 | 1600 | 740 | ..... |
| 40 | I 19 | Blanco | Medio | 113 | C 9 | 1750 | 475 | ..... |
| 60 | I 19 | Blanco | Medio | 113 | C 9 | 1750 | 440 | ..... |
| 75 | T 19 | Blanco | Medio | 113 | C 9 | 1150 | 1110 | ..... |
| 100 | I 19 | Blanco | Medio | 113 | C 8 | 1000 | 1650 | ..... |
| 100 | | | | | | | 640 | ..... |
| 150 | T 19 | Blanco | Medio de J. entrelazados | 155 | ZCL 6 | 1400 | 1400 | ..... |
| 100 | | | | | | | 2070 | ..... |
| 100 | | | | | | | 1700 | ..... |
| 750 | PS 25 | Blanco | Medio de J. entrelazados | 173 | ZCC 6 | 1700 | 3400 | ..... |
| 300 | | | | | | | 4900 | ..... |
| 110 | I 21 | Blanco | Medio | 140 | CL 8 | 1000 | 2570 | ..... |
| 200 | A 21 | I.F. - C1 | Medio | 160 | CC 8 | 750 | 2500 | 2400 |
| 300 | PS 25 | Medio | | 176 | CC 8 | 750 | 6700 | 5800 |
| 500 | PS 35 | Medio | | 238 | CC 8 | 1000 | 10720 | 10000 |
| 750 | PS 52 | Medio | | 317 | ZCC 8 | 1000 | 18700 | 15500 |
| 1000 | PS 57 | Medio | | 337 | ZCC 8 | 1000 | 23000 | 21000 |
| 1500 | PS 57 | Medio | | 337 | C 7A | 1000 | 33000 | 29000 |

LAMPARAS PROYECTORIALES Y DE LUCES DE CALOR
El número de 2 000 indica el tipo de vida

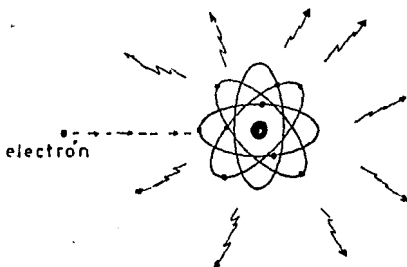
| Vatios | Bulbo | Cavijillo | Luminosidad total máxima (lm/m²) | Apertura de la boca (mm) | Flujo luminoso en el eje (lm/m²) | Flujo luminoso medio (lm/m²) | Máximo de luz en el eje (lm/m²) | Flujo luminoso medio (lm/m²) |
|--------------------|-----------|-------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 25 | PAR 38 | Medio ancho | 135 | 30 | 465 | 750 | 4900 | Extensiva |
| 75 | PAR 38 | Medio ancho | 135 | 40 | 600 | 950 | 1950 | Extensiva |
| 150 | PAR 38 | Medio ancho | 135 | 50 | 1100 | 1320 | 16500 | Extensiva |
| 150 | PAR 38 | Medio ancho | 135 | 60 | 1350 | 1710 | 3400 | Extensiva |
| 150 | PAR 44 | Medio ancho | 135 | 170 | 1700 | 1700 | 1700 | Extensiva |
| 200 | PAR 44 | Medio ancho | 102 | 17 x 23 | 1200 | 7100 | 39000 | Extensiva |
| 200 | PAR 46 | Extensivas | 102 | 20 x 40 | 1900 | 2350 | 12700 | Medio |
| 300 | PAR 56 | Medio | 122 | 15 x 26 | 1800 | 3970 | 20000 | Extensiva |
| 300 | PAR 56 | Extensivas | 122 | 20 x 35 | 2600 | 3770 | 27000 | Medio |
| 300 | PAR 56 | Extensivas | 122 | 30 x 40 | 2100 | 3770 | 10700 | Medio |
| 500 | PAR 64 | Medio | 152 | 13 x 20 | 2250 | 6500 | 120000 | Extensiva |
| 500 | PAR 64 | Medio | 152 | 20 x 35 | 3100 | 6500 | 29000 | Medio |
| 500 | PAR 64 | Medio | 152 | 24 x 45 | 3800 | 6500 | 12200 | Medio |
| Reflectores | | | | | | | | |
| 30 | R 20 | Medio | 100 | 90 | 180 | 210 | 740 | Extensiva |
| 50 | R 20 | Medio | 100 | 90 | 275 | 420 | 420 | Extensiva |
| 75 | R 30 | Medio | 137 | 110 | 410 | 820 | 1840 | Extensiva |
| 75 | R 30 | Medio | 137 | 110 | 720 | 820 | 430 | Extensiva |
| 150 | R 40 | Medio | 165 | 140 | 860 | 1870 | 3600 | Extensiva |
| 150 | med. R 40 | Medio | 165 | 110 | 1400 | 1870 | 1300 | Extensiva |
| 300 | med. R 40 | Medio | 165 | 35 | 1300 | 3100 | 13500 | Extensiva |
| 300 | med. R 40 | Medio | 165 | 115 | 2400 | 3100 | 7500 | Extensiva |
| 500 | med. R 40 | Medio | 184 | 35 | 2100 | 4900 | 22500 | Extensiva |
| 500 | med. R 40 | Medio | 184 | 115 | 5400 | 4510 | 4800 | Extensiva |
| 500 | R 57 | Medio | 305 | 70 | ..... | 7850 | ..... | Extensiva |
| 1000 | R 57 | Medio | 299 | 120 | ..... | 7850 | ..... | Medio |
| 750 | R 57 | Medio | 305 | 70 | ..... | 17000 | ..... | Extensiva |
| 750 | R 57 | Medio | 299 | 120 | ..... | 17000 | ..... | Medio |
| 1000 | R 57 | Medio | 305 | 70 | ..... | 17000 | ..... | Extensiva |
| 750 | R 60 | Medio | 248 | 80 | ..... | 11800 | ..... | Extensiva |
| 1000 | R 60 | Medio | 244 | 80 | ..... | 16800 | ..... | Extensiva |

* Indica un 50% de la intensidad luminosa máxima.
 ** Valor medio en el campo central de 10% de abertura total, para ángulos de 15 grados y secciones de 10% de intensidad y las de 10% de abertura, para los que se comp. secciones de 50%
 *** Número de ciclos resistente al punto.
 **** Tamaño de la tubería con bulbo de ancho resistente al punto.

9.4 LAMPARAS DE ARCO DE DESCARGA.

Las lámparas de arco de descarga o también llamadas de - descarga eléctrica, son fuentes luminosas que basan su funcionamiento en los intercambios energéticos producidos por el desplazamiento de los electrones dentro de los átomos de un gas o vapor.

Este tipo de lámparas constan de un par de electrodos en cerrados en una envoltura de vidrio rellena de gas o vapor. Cuando se aplica un voltaje a los electrodos, el gas es ionizado y un flujo de electrones es acelerado moviéndose del electrodo negativo (ánodo), al electrodo positivo (cátodo). Al chocar estos electrones con los átomos del gas o vapor, los electrones que están en las órbitas de dichos átomos son desplazados y al regresar a su posición original producen radiaciones de una determinada longitud de onda, las cuales son aprovechadas para la producción de luz. Cuando el voltaje cambie de polaridad, si es alterno, el arco no se extinguirá ya que los electrones que se movían en un sentido ahora lo harán en sentido contrario manteniéndose la continuidad en la emisión luminosa.

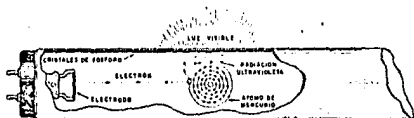


9.4.1 Lámparas fluorescentes.

Este tipo de lámpara consta de un par de electrodos colocados en los extremos de un bulbo tubular relleno de vapor de mercurio a baja presión con una pequeña cantidad de ar-

gón. Las paredes interiores del bulbo poseen un revesti---
miento fluorescente.

Al aplicar una diferencia de potencial, un flujo de elec-
trones es acelerado de un electrodo a otro, sufriendo coli-
siones con los átomos de mercurio, los cuales producen ra-
diaciones ultravioleta de una longitud de onda de 2,500 --
Angstroms aproximadamente. El revestimiento interior fluo-
rescente transforma esas radiaciones ultravioleta en luz -
visible ya que el fósforo es activado por radiaciones de e
sa longitud de onda.



A continuación, estudiaremos las partes principales de u
na lámpara fluorescente.

a. Electrodos.

Los electrodos de la mayoría de las lámparas fluorescen-
tes utilizan un filamento de tungsteno doblemente arrolla-
do en espiral y recubierto de un material llamado emisor --
y que puede ser bario, estroncio u óxido de calcio.

Al aplicar una diferencia de potencial, el filamento se calienta y desprende electrones. Dicho fenómeno recibe el nombre de emisión termoiónica. Las lámparas que emplean este tipo de electrodos son conocidas como lámparas de "cátodo caliente".

Existen también electrodos fabricados con hierro moldeado de tal forma que permita una gran emisión de electrones. Las lámparas construídas con este tipo de electrodos son llamadas de "cátodo frío". Su rendimiento no es tan elevado, obteniéndose menos lúmenes por vatio y empleando un voltaje mayor que el aplicado a las de cátodo caliente. Este tipo de electrodos se emplean, por su larga duración, en aquellas lámparas cuya sustitución presente un alto grado de dificultad.



CATODO CALIENTE



CATODO FRIO

b. Revestimientos interiores.

Los fósforos empleados en los recubrimientos interiores son seleccionados en base a su eficacia para convertir la

energía ultravioleta en luz visible. Son además compuestos estables que mantienen un alto nivel de emisión luminosa durante el tiempo que dure la lámpara.

El color producido depende de la composición química de los fósforos empleados. Existen diferentes tipos de blancos, algunos de los cuales se obtienen a partir de un fósforo único, y otros son producidos por la mezcla de dos o más. Entre los blancos conocidos tenemos:

Blanco cálido normal.

Blanco frío normal.

Blanco vivo.

Blanco frío de lujo.

Blanco cálido de lujo.

Luz de día.

Blanco suave.

Las lámparas de color como las verdes, azules y rosas, utilizan solamente fósforo, mientras que las doradas y rojas llevan un recubrimiento pigmentado añadido al fósforo.

A continuación, se muestra una tabla con algunos de los compuestos más utilizados y el color que producen.

| POSFORO | COLOR DE FLUORESCENCIA |
|---------|------------------------|
|---------|------------------------|

| | |
|------------------------------|----------------|
| Silicato de cinc..... | Verde |
| Tungstenato de calcio..... | Azul |
| Borato de cadmio..... | Rosa |
| Fosfato de calcio..... | Rojo intenso |
| Silicato de cadmio..... | Amarillo-rosa |
| Tungstenato de magnesio..... | Blanco azulado |
| Halofosfato de calcio..... | Blanco |

c. Bases.

Las lámparas o casquillos empleados en las lámparas fluo-
rescentes se muestran a continuación.



Las lámparas con cátodos de precalentamiento o de encendido rápido, necesitan de cuatro contactos eléctricos en total, lo cual se logra con dos bases de dos pastillas, una en cada extremo.

En las lámparas circulares o "Circline", se logran con un contacto de cuatro pastillas que se sitúa en la unión de los electrodos.

Las lámparas de muy alta emisión emplean bases del tipo-

de doble contacto retráctil. Las de encendido instantáneo solo requieren de dos contactos eléctricos, por lo cual, - sus bases son de una sola pastilla.

d. Bulbos.

Las lámparas fluorescentes se designan normalmente como tipo "F" y utilizan bulbos tubulares cuyos diámetros van - desde 5/8 hasta 17/8 de pulgada. Su longitud se encuentra entre 6 y 96 pulgadas. Las de forma circular se fabrican - en tres tamaños: 8.25, 12 y 15 pulgadas de diámetro exte-- rior del círculo. También son fabricados cierto tipo de -- lámparas en forma de "U".

La característica producida por el arco de mercurio en - las lámparas fluorescentes, es el de una resistencia variable e inestable, además de que es necesaria una diferencia de potencial elevada para iniciarlo. Lo anterior sucede -- también en todas las lámparas de arco de descarga, por lo cual es necesario para su funcionamiento el uso de equipo- auxiliar.

Cada lámpara debe contar con una reactancia estabilizadora que proporcione un alto voltaje inducido en el arranque y, después de iniciada la conducción, estabilizar la impedancia a fin de mantener constante el valor de la corriente en el circuito. Se emplean también capacitores para la corrección del factor de potencia, los cuales pueden estar incluidos en el conjunto estabilizador o conectarse a todo el conjunto en una instalación de varias lámparas.

Los dispositivos estabilizadores se construyen en una unidad compacta y se encuentran en el interior de una caja- metálica. Todo el conjunto recibe el nombre de balastro o- estabilizador.

Las lámparas que requieren de un precalentamiento para iniciar su funcionamiento necesitan un interruptor de arranque además del balastro. Las de arranque instantáneo o rápido pueden prescindir de dicho interruptor.

El final de la vida de una lámpara en condiciones normales ocurre cuando alguno de los electrodos no tiene ya el suficiente material emisor para la creación del arco, debido a que parte del material se consume en forma continua y otra parte es consumida por el arco cada vez que la lámpara es encendida. Cuando el material emisor se agota en las lámparas de encendido rápido o instantáneo, el arco no es producido. Las lámparas de precalentamiento parpadean cuando los electrodos se calientan, mas sin embargo, el arco no llega a mantenerse.

Para evitar el calentamiento excesivo de los equipos auxiliares, las lámparas fundidas deben ser reemplazadas inmediatamente.

En lo referente a la emisión luminosa de una lámpara --- fluorescente, esta disminuye en forma más rápida durante las primeras cien horas de servicio, efectuándose después en forma gradual. La disminución de la emisión luminosa se debe al desgaste del revestimiento de fósforo que va teniendo lugar así como el ennegrecimiento interior del bulbo debido al material desprendido por los electrodos y que se deposita en mayor cantidad en los extremos de la lámpara, que es donde se encuentran los electrodos.

La emisión luminosa de una lámpara se ve afectada por la temperatura de servicio, existiendo un rendimiento máximo cuando trabajan entre los 38 y los 49 grados centígrados. Por valores encima de los 49, la emisión luminosa disminuye lentamente y por debajo de los 38 en forma muy rápida.

Como se recordará, en las lámparas incandescentes un voltaje mayor que el nominal produce un mayor rendimiento pero acorta la vida de la lámpara. Un voltaje menor alarga la vida de la lámpara, pero la cantidad de lúmenes por vatio emitidos disminuye. En las lámparas fluorescentes, un voltaje menor que el nominal así como uno mayor, reduce el rendimiento y acorta la vida de la lámpara. Un voltaje menor, además, puede crear dificultades en el encendido, ya que cuando es lento o retardado, se pierde una mayor cantidad de material emisor, y por lo tanto, el tiempo de vida de la lámpara es acortado. Con un voltaje mayor al nominal la corriente de funcionamiento resulta excesiva y aparte de calentar en exceso el balastro, causa el ennegrecimiento prematuro de los extremos.

A pesar de ser una lámpara para funcionar con corriente alterna, es posible hacer que una lámpara fluorescente trabaje con corriente directa si se tiene el equipo auxiliar adecuado y un valor de voltaje elevado. Sin embargo, el rendimiento disminuye obteniéndose menos lúmenes por vatio debido a que existen pérdidas en el equipo auxiliar que no existen cuando trabajan con corriente alterna. El tiempo de vida se ve también reducido, obteniéndose un 80% del tiempo de vida normal.

Ahora bien, debido a las características de la corriente alterna, el arco producido en una lámpara fluorescente se extingue dos veces cada ciclo y la permanencia de la luz depende del revestimiento de fósforo. Las rápidas fluctuaciones pueden originar el llamado efecto estroboscópico que consiste en ver los objetos moviéndose en instantáneas repetidas en posiciones sucesivas. Se corrige distribuyen-

do las conexiones a distintas fases o mejorando el revestimiento fluorescente en su fabricación.

Para cálculos de cargas, éstas lámparas se consideran -- con un 15% más de su valor, es decir, si es de 1,000 vatios se toma como de 1,150.

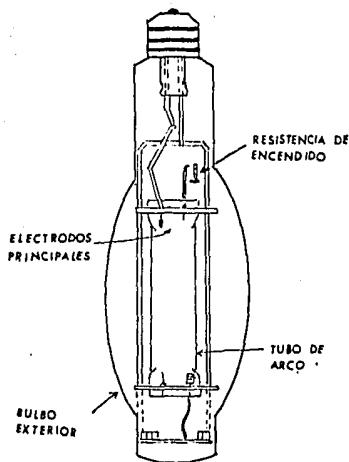
9.4.2 Lámparas de alta intensidad de descarga.

Este tipo de lámparas de descarga por arco puede ser de vapor de mercurio, aditivos metálicos y de vapor de sodio. Las características y funcionamiento de ellas son similares. Tomaremos, por lo tanto, a la lámpara de vapor de mercurio como modelo.

Una lámpara de vapor de mercurio consta de una cámara de arco hecha de cuarzo colocada herméticamente dentro de un bulbo envolvente. Tiene dos electrodos llamados principales en los extremos de la cámara de arco y un electrodo adyacente al principal superior y que sirve como auxiliar de arranque. Este tercer electrodo está conectado en serie -- con una resistencia estabilizadora.

El bulbo exterior envolvente sirve para regular y mantener la temperatura tan elevada de funcionamiento que hay dentro de la cámara donde tiene lugar el arco. Dicha cámara contiene una pequeña cantidad de argón puro y mercurio. Este último se vaporiza gradualmente durante el periodo de arranque. La cantidad de mercurio utilizado está medida -- muy cuidadosamente a fin de mantener constante la presión del vapor durante su funcionamiento.

Todas estas partes son mostradas en detalle en la figura que aparece en la siguiente página.



Para empezar a funcionar, se establece primeramente un campo eléctrico entre el electrodo de encendido y el principal adyacente, el cual provoca una emisión de electrones que produce una pequeña descarga local suficiente para ionizar el gas de encendido.

A continuación se produce la descarga de arco entre los electrodos principales y el mercurio se vaporiza gradualmente. El tiempo promedio en que la lámpara alcanza sus valores normales de funcionamiento dependen del tipo de lámpara y de la reactancia empleada, y se encuentra comprendido entre los 4 y los 7 minutos aproximadamente.

Una interrupción en el suministro de energía eléctrica o una brusca disminución en el voltaje puede hacer que se interrumpa al arco. Antes de que la lámpara pueda volver a ser encendida, es necesario que se enfríe lo suficiente para reducir la presión del vapor hasta que el arco pueda volver a saltar al voltaje adecuado. El tiempo de reencendido en la mayoría de las lámparas es el mismo que el de calentamiento.

Las lámparas con aditivos metálicos son básicamente lámparas de vapor de mercurio en cuya cámara de arco, además del mercurio, son añadidos yoduros de sodio, talio e indio, lo cual da como resultado un rendimiento mucho mayor que el obtenido con lámparas de vapor de mercurio, lográndose además, una mejor calidad en el color.

Por otra parte, las lámparas que emplean vapor de sodio para su funcionamiento pueden tenerlo a baja o alta presión. Las de vapor de sodio a baja presión emiten luz amarilla monocromática y han sido utilizadas durante mucho tiempo, mas sin embargo, últimamente se ha logrado con lámparas de vapor de sodio a alta presión, el más alto rendimiento de producción de luz que cualquier otra fuente comercial de luz existente.

La vida promedio de las lámparas de alta intensidad de descarga oscila entre las 20,000 horas aproximadamente.

Al igual que las lámparas fluorescentes, este tipo de lámparas también utiliza equipo auxiliar, el cual cumple su función de manera similar.

Para protección de las lámparas, éstas han de funcionar dentro de un estrecho margen en cuanto a variaciones de voltaje se refiere.

A continuación se muestran algunas lámparas de este tipo.

9.5 LAMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA E INFRARROJA.

Las lámparas estudiadas hasta el momento, tanto las de filamento como las de descarga por arco, han sido analizadas desde el punto de vista de su capacidad para producir luz visible, es decir, radiaciones comprendidas dentro del espectro visible y cuyas longitudes de onda varían de ---- 3,800 a 7,600 Angstroms. Sin embargo, también son utilizadas dichas lámparas para la producción de luz ultravioleta e infrarroja, que no son otra cosa que radiaciones cuya -- longitud de onda es menor que 3,800 y mayor que 7,600 Angstroms, respectivamente. Estudiaremos en esta sección este tipo de lámparas.

9.5.1 Lámparas de luz ultravioleta.

Las lámparas de luz ultravioleta son aquellas diseñadas especialmente para la emisión de radiaciones ultravioleta, las cuales, por supuesto, no son visibles al ojo humano.

Dependiendo de su longitud de onda, la porción del espectro electromagnético que comprende a las radiaciones ultravioleta se divide en cuatro regiones.

a. Región fluorescente.

Esta región comprende todas las radiaciones cuya longitud de onda varía de 3,800 hasta 3,200 Angstroms. Son llamadas del ultravioleta próximo, ya que son las radiaciones ultravioleta más cercanas a las radiaciones visibles. Sirven para activar una amplia gama de sustancias fluorescentes y fosforescentes cuya sensibilidad máxima es alrededor de los 3,650 Angstroms.

b. Región eritémica.

Abarca radiaciones comprendidas entre los 3,200 y 2,800-Angstroms de longitud de onda. Producen el oscurecimiento de la piel, bronceado solar y otros efectos biológicos en el organismo.

c. Región bactericida.

Comprende a las radiaciones con longitudes de onda de -- 2,800 a 2,000 Angstroms, las cuales son mortales para los microorganismos así como también sirven para activar un -- grupo de materiales fluorescentes que ya han sido estudiados y que son los utilizados para recubrir internamente -- las lámparas fluorescentes.

d. Región de Shuman.

En esta región están comprendidas todas las radiaciones ultravioleta con longitudes de onda por debajo de los ---- 2,000 Angstroms y que son llamadas radiaciones ultravioleta de onda corta, las cuales generan ozono, el cual posee propiedades desodorizantes.

La forma en que las lámparas producen radiaciones ultravioleta son mediante filamentos de tungsteno a temperatura mas alta que en las lámparas normales, y también por descargas de arco de mercurio. Ocurren también durante la formación de arcos voltaicos de carbón y tungsteno.

Podemos dividir a las lámparas de luz ultravioleta de la siguiente manera:

- FUENTES DE LUZ ULTRAVIOLETA:
1. Lámparas de luz solar.
 2. Lámparas de luz negra.
 3. Lámparas germicidas.

4. Lámparas fotoquímicas.

5. Lámparas de ozono.

1. Lámparas de luz solar.

La luz solar, además de las radiaciones visibles que todos percibimos, contiene cierta cantidad de radiaciones ultravioleta pertenecientes a la región eritémica, las cuales son responsables de las molestas y a veces dolorosas quemaduras producidas por una exposición prolongada a los rayos solares.

Las radiaciones producidas por todas las lámparas de vapor de mercurio abarcan diferentes valores en cuanto a longitud de onda se refiere, incluyendo las pertenecientes a la región eritémica de la banda ultravioleta, las cuales son filtradas por el bulbo exterior en aquellas lámparas diseñadas para uso general. Las lámparas de luz solar son lámparas de vapor de mercurio a las cuales no se suprimen dichas radiaciones ultravioleta cuya longitud de onda esté arriba de los 2,800 Angstroms, que es donde empieza la región eritémica precisamente. Dichas radiaciones son producidas junto con radiaciones visibles y algunas infrarrojas.

El uso principal de estas lámparas se encuentra en el área médica, ya que se ha comprobado que la absorción hecha por la piel de este tipo de radiaciones estimula la formación de vitamina D, e influye en la formación del calcio para evitar el raquitismo y fortalecer huesos y dientes.

2. Lámparas de luz negra.

Luz negra es un término con el cual es conocida la radiación ultravioleta de la región fluorescente, la cual, cuando

do incide sobre cierto tipo de materiales los hace fluorecer, es decir, emitir luz visible.

Las lámparas de luz negra más utilizadas son similares a las lámparas fluorescentes, pero con la característica de que no poseen el recubrimiento interior que las haga emitir luz visible. Existen, aunque no con mucho éxito, lámparas de filamento de luz negra, la cual es obtenida mediante filtros especiales.

El uso de este tipo de lámparas es muy amplio en la decoración, publicidad, exhibición y para efectos teatrales.

3. Lámparas germicidas.

Este tipo de lámparas está formado por un bulbo tubular que contiene vapor de mercurio mezclado con gases inertes. La radiación ultravioleta resultante se encuentra comprendida en la región bactericida del espectro.

Dichas radiaciones son capaces de matar bacterias, gérmenes del moho y otros microorganismos del aire o de las superficies expuestas a ellos. Sin embargo, no pueden penetrar en la mayoría de las sustancias y por esa razón los alimentos o los tejidos no pueden esterilizarse. El poder letal de las radiaciones depende de las longitudes de onda emitidas, siendo la radiación más eficaz la de 2,537 -- Angstroms.

Entre otras aplicaciones, las lámparas germicidas son empleadas en el almacenamiento y curado de la carne, en la fabricación del pan para evitar el moho, para esterilización de envases de vidrio destinados a bebidas así como en el instrumental médico empleado en hospitales y en salas de operaciones para evitar infecciones de las heridas.

4. Lámparas fotoquímicas.

Bajo este nombre se agrupan ciertas lámparas de mercurio que irradian la gama completa de radiaciones ultravioleta, y por lo tanto, deben usarse con demasiada precaución no debiendo exponerse la piel o los ojos a esas radiaciones.- Constan de un bulbo tubular de cuarzo sin el recubrimiento empleado en otras similares y que eliminaba ciertas radiaciones.

Son empleadas en una gran cantidad de procesos industriales, alumbrado de máquinas fotocopiadoras, fotografía y -- hasta para la esterilización del agua cuando por alguna razón la esterilización química produce sabores u olores desagradables.

5. Lámparas de ozono.

Este tipo de lámparas son de vapor de mercurio a muy baja presión y trabajando a bajos voltajes, lo cual favorece la emisión de radiaciones ultravioleta de onda corta, produciéndose radiaciones de 1,849 Angstroms de longitud de onda, las cuales producen ozono.

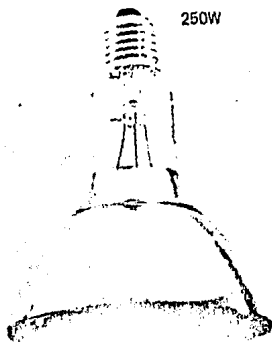
Como se sabe, el ozono es oxígeno concentrado y es capaz de combinarse con vapores olorosos en el aire y cambiar su composición química. Esa es la razón por la cual esta lámpara se emplea con fines desodorizantes, produciendo solo pequeñas cantidades de ozono, ya que concentraciones muy elevadas llegan a ser nocivas para el organismo.

Debido a las características de las lámparas y siendo en su mayoría de descarga por arco de mercurio, las lámparas estudiadas anteriormente deben ser operadas con equipo auxiliar, a excepción de las de filamento para producción de

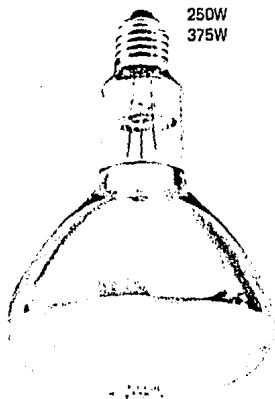
luz negra.

9.5.2 Lámparas de rayos infrarrojos.

Las lámparas infrarrojas o de calefacción, son lámparas de filamento proyectadas para trabajar a una temperatura más baja que las normales, emitiendo energía perteneciente a la banda infrarroja del espectro electromagnético con longitudes de onda mayores a 7,600 Angstroms, las cuales no pueden ser vistas pero sí sentidas como calor.



250W



250W
375W

Debido a la baja temperatura de funcionamiento del filamento, éstas lámparas presentan rendimientos bajos y por lo tanto, tiempos de vida muy largos, llegando a calcularse su vida media superior a las 5,000 horas.

Estas lámparas son fabricadas con bulbos R, G y T. Estos últimos son utilizados en las recientemente aparecidas lámparas infrarrojas de cuarzo. El calentamiento proporcionado por estas lámparas depende de la potencia y del voltaje nominal al cual trabajen.

Entre sus aplicaciones más importantes se encuentra la crianza de animales jóvenes evitando la mortandad y las enfermedades debidas a las fluctuaciones en el clima.

Son utilizadas también para fines terapéuticos, sobre todo en el tratamiento de golpes, ya que también el calentamiento producido es necesario en la relajación de los músculos golpeados.

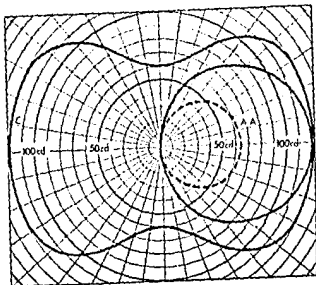
9.6 LUMINARIAS.

Una fuente de luz emite radiaciones en todas direcciones tal y como es posible observar en las curvas de distribución de las diferentes fuentes estudiadas anteriormente. Con el objeto de dirigir, modificar y difundir la luz producida por las fuentes, se emplean ciertos dispositivos -- llamados luminarias.

Las luminarias hacen que el uso de las fuentes sea más económico, efectivo y seguro para la vista, algo que no sucede si se instala la lámpara descubierta.

Una apreciación más clara de lo anterior puede hacerse -- observando las curvas de distribución para una lámpara descubierta y para la misma lámpara con luminaria. Dichas grá

ficas representan la distribución de luz en un plano vertical que pasa por el centro de la fuente.



9.6.1 Tipos de luminarias.

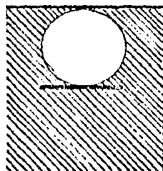
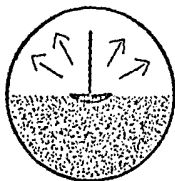
De acuerdo a la iluminación producida por las fuentes de luz, las luminarias se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a. Indirecta.
- b. Semiindirecta

- c. General difusa o directa-indirecta.
- d. Semidirecta.
- e. Directa.

Las distintas formas de iluminación que existen serán co-
mantadas a continuación.

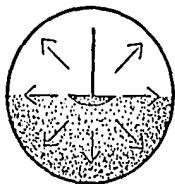
a. La iluminación indirecta se logra cuando las lumina--
rias dirigen el 90% o más de la intensidad luminosa hacia
el techo de la habitación en ángulos por encima de la hori--
zontal. La iluminación obtenida es bastante difusa ya que--
casi toda la luz efectiva que incide sobre las superficies
de trabajo es reflejada hacia abajo por el techo y una pe--
queña lo es por las paredes. Debido a que los acabados de--
la habitación influyen sobremanera en el direccionamiento--
de la luz, es muy importante que sea lo más claro posible.
Los techos, de preferencia, deben de tener un acabado col--
lor mate para evitar las imágenes reflejadas.



Este tipo de iluminación es recomendable para oficinas,--
escuelas y similares, debido a la ausencia de sombras y --
brillo reflejado, así como a la distribución tan uniforme--

que se logra.

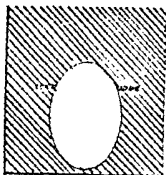
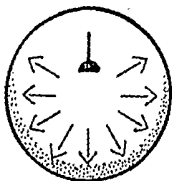
b. En la iluminación semiindirecta, del 60 al 90% de la luz es dirigida hacia el techo en ángulos por encima de la horizontal. El resto es dirigido hacia abajo.



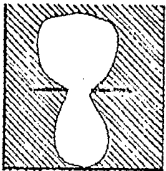
Este tipo de iluminación aprovecha las ventajas del indirecto dándole además un grado un poco mayor de eficiencia.

c. La iluminación general difusa o directa-indirecta, es aquella lograda cuando un 40 a 60% de la luz es dirigida hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal.

La mayor parte de la luz que incide sobre las superficies iluminadas se debe a la luz que es dirigida en forma directa desde la luminaria, sin embargo, también existe una importante cantidad de luz reflejada por el techo y las paredes laterales. La diferencia principal entre la iluminación general difusa y la directa-indirecta, está en la cantidad de luz dirigida en dirección horizontal. Esto puede observarse en las curvas de distribución que se muestran enseguida.

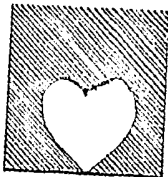
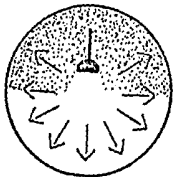


GENERAL DIFUSO.

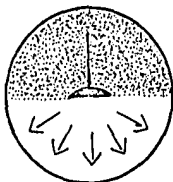


DIRECTO-INDIRECTO.

d. En la iluminación semidirecta, del 60 al 90% de la luz es dirigida hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal. El nivel de iluminación logrado sobre las superficies de trabajo es el resultado de la luz que es dirigida directamente de la luminaria. La restante porción de luz que es dirigida hacia el techo hace más brillante la zona en la cual se encuentra la luminaria, reduciendo con ello el contraste de brillo.



e. Por último, en la iluminación directa, la luz de las luminarias en un porcentaje del 90 al 100% es dirigida hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal. A pesar de proporcionar iluminación sobre las superficies de trabajo en un alto rendimiento, otros factores tales como contrastes excesivos, sombras y deslumbramientos directos o reflejados, hacen su aparición.



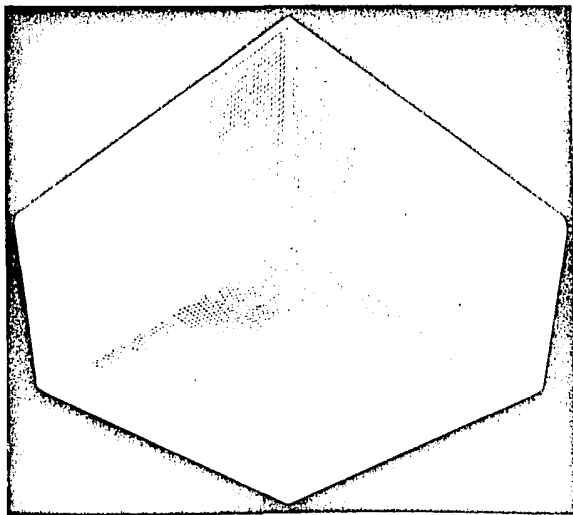
Las luminarias pueden ser abiertas o cerradas. Las abiertas encierran parcialmente a las lámparas mientras que las luminarias cerradas las ocultan completamente.

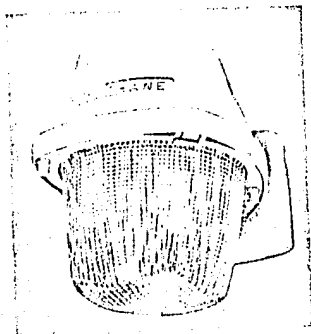
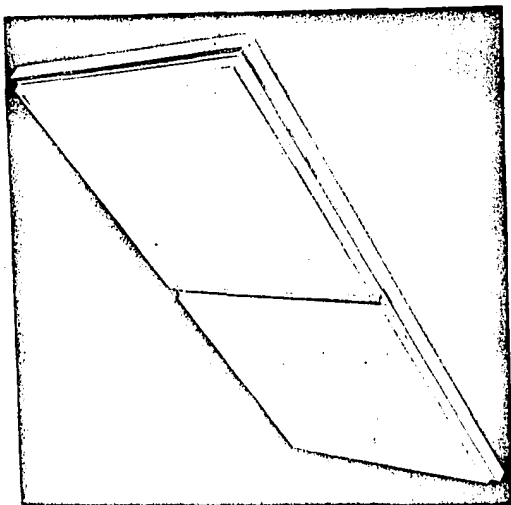
Los materiales usados para la construcción de luminarias y que son los responsables directos de la reflexión o transmisión de la luz, son el acero, aluminio, vidrio opaco, vidrio prismático y plástico. Algunas luminarias están hechas usando vidrio y metal o plástico y metal, en donde este último es el encargado de la reflexión y el vidrio o plástico, de la difusión.

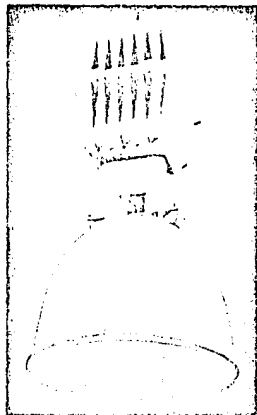
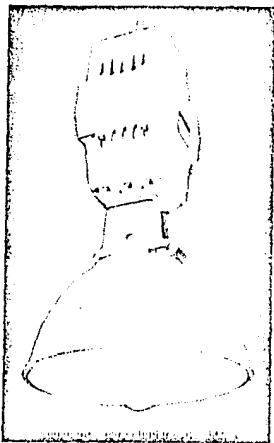
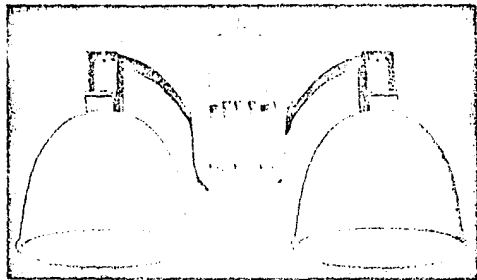
La forma y tamaño de la luminaria es dictado de acuerdo a la fuente de luz con la cual será usada. Encontramos, en

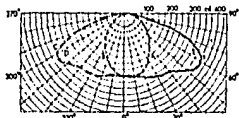
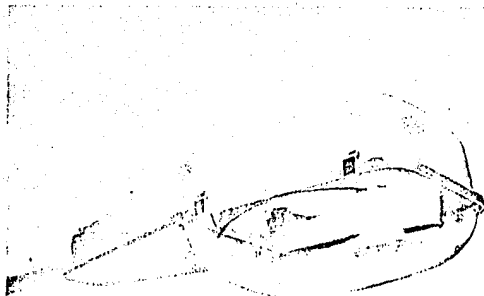
tonces, luminarias para lámparas incandescentes, para lámparas de alta intensidad de descarga y para lámparas fluorescentes.

Las siguientes ilustraciones nos muestran diferentes tipos de luminarias comerciales, las cuales son utilizadas en el alumbrado de interiores y en el de exteriores. Se muestran, también, las hojas de datos del fabricante para algunos tipos de luminarias.

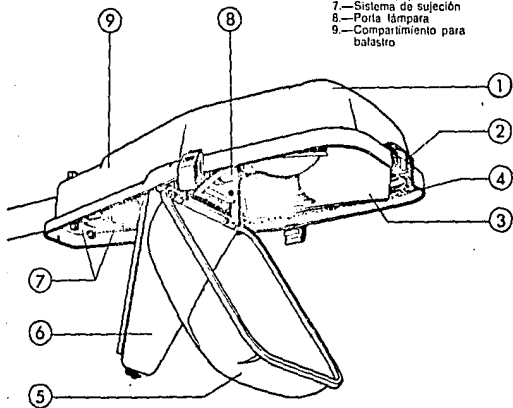




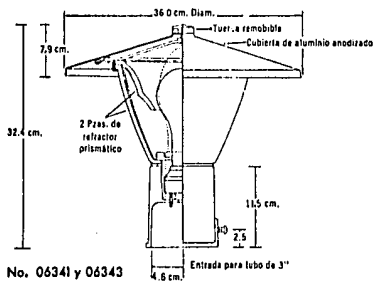
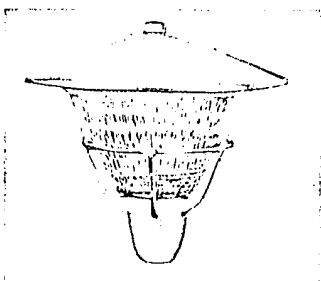




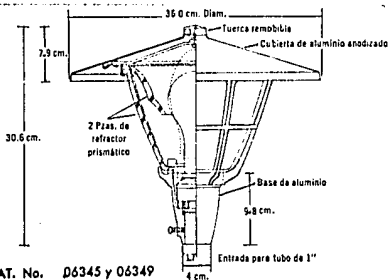
- 1.—Carcaza
- 2.—Brocho de cierre (3X)
- 3.—Reflector (2X)
- 4.—Empaque de fieltro
- 5.—Cubierta de metacrilato
- 6.—Tapa equipo eléctrico
- 7.—Sistema de sujeción
- 8.—Puerta lámpara
- 9.—Compartimiento para balastro



PUNTA DE POSTE ASIMETRICA



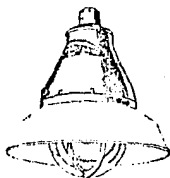
CAT. No. 06341 y 06343



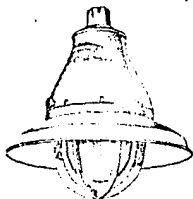
CAT. No. 06345 y 06349



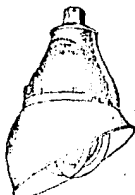
Sin Reflector



Con Reflector
Domo



Con Reflector
Poco Profundo



Con Reflector
Angular 30°

Luminarias a Prueba
de Explosión

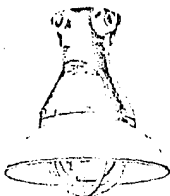
Para Lámparas de
Vapor de Mercurio

Selladas de Fábrica

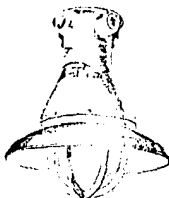
Iluminación
Incandescente

Luminarias

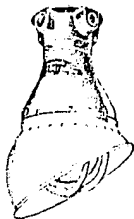
Selladas de Fábrica



Con Reflector
Domo

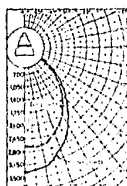


Con Reflector
Poco Profundo



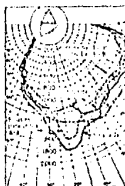
Con Reflector
Angular 30°

Luminaria con Globo, Reflector Poco Profundo con o sin Guarda



NOTA:
Toda la información es para luminarias con lámparas de vapor de mercurio de 250 watts. Use los siguientes factores para otras capacidades de lámparas:
100W 0.46 175W 0.66 400W 1.74
Ejemplo: Lumens Zonales para lámpara 250W para 0-40° es 3722.
Lumens Zonales para lámpara 400W para 0-40° es $3722 \times 1.74 = 6476$.

Luminaria con Globo, Reflector Angulo 30° y con o sin Guarda.



NOTA:
Toda la información es para luminarias con lámparas de vapor de mercurio de 250 watts. Use los siguientes factores para otras capacidades de lámparas:
100W 0.46 175W 0.66 400W 1.74
Ejemplo: Lumens Zonales para lámpara 250W para 0-40° es 3722.
Lumens Zonales para lámpara 400W para 0-40° es $3722 \times 1.74 = 6476$.

Coefficiente de Utilización
Reflectancia efectiva cavidad de piso 20%

| % Reflectancia efectiva | | Radio de cavidad del cuarto | | | | |
|-------------------------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|
| Techo | Pared | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 80 | 50 | .603 | .556 | .512 | .471 | .435 |
| | 30 | .587 | .530 | .482 | .437 | .397 |
| | 10 | .573 | .509 | .458 | .410 | .370 |
| 70 | 50 | .592 | .546 | .506 | .465 | .428 |
| | 30 | .577 | .523 | .477 | .433 | .394 |
| | 10 | .563 | .505 | .455 | .407 | .368 |
| 50 | 50 | .587 | .527 | .491 | .452 | .418 |
| | 30 | .556 | .509 | .467 | .425 | .389 |
| | 10 | .546 | .492 | .447 | .403 | .366 |
| 30 | 50 | .547 | .511 | .477 | .441 | .409 |
| | 30 | .539 | .496 | .457 | .417 | .382 |
| | 10 | .530 | .482 | .440 | .398 | .362 |
| 10 | 50 | .529 | .496 | .465 | .430 | .400 |
| | 30 | .521 | .483 | .448 | .410 | .377 |
| | 10 | .514 | .472 | .433 | .393 | .358 |

| % Reflectancia efectiva | | Radio de cavidad del cuarto | | | | |
|-------------------------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|
| Techo | Pared | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 80 | 50 | .401 | .369 | .340 | .314 | .277 |
| | 30 | .363 | .332 | .302 | .276 | .238 |
| | 10 | .338 | .306 | .276 | .250 | .213 |
| 70 | 50 | .396 | .366 | .336 | .311 | .274 |
| | 30 | .361 | .329 | .301 | .275 | .238 |
| | 10 | .335 | .304 | .275 | .250 | .213 |
| 50 | 50 | .387 | .358 | .330 | .305 | .269 |
| | 30 | .356 | .324 | .297 | .272 | .235 |
| | 10 | .333 | .302 | .274 | .249 | .212 |
| 30 | 50 | .379 | .350 | .324 | .300 | .265 |
| | 30 | .352 | .321 | .294 | .269 | .233 |
| | 10 | .330 | .300 | .272 | .247 | .211 |
| 10 | 50 | .372 | .344 | .318 | .294 | .260 |
| | 30 | .347 | .318 | .291 | .267 | .231 |
| | 10 | .327 | .295 | .271 | .246 | .210 |

Illuminación Incandescente

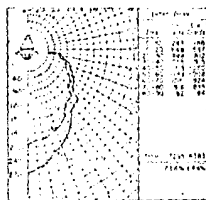
Datos Fotométricos

Clase I, Grupos C, D

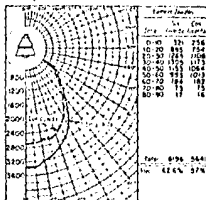
Luminaria con Globo, Reflector Semi-Profundo y con o sin Guarda.

Luminaria con Globo, Reflector Profundo, con o sin Guarda.

Lámpara: 300W/PS-35 y 500W/PS-40 Toda la información proporcionada es para lámpara incandescente 500W/PS-40. Use el factor 0.56 para lámpara 300W/PS-35.



Ejemplo: Lumens Zonas para lámpara 500 W/PS-40 sin guarda para 0-10° es 243. Zona de lumens para lámpara 300W/PS-35 sin guarda para 0-10° es 243 x 0.56 = 136.



Ejemplo: Lumens Zonas para lámpara 500 W/PS-40 sin guarda para 0-10° es 321. Zona de lumens para lámpara 300W/PS-35 sin guarda para 0-10° es 321 x 0.56 = 180.

Coefficiente de Utilización

Reflectancia efectiva de cavidad de piso 20%

% Reflectancia efectiva

Radio de cavidad del cuarto

| Techo | Pared | Radio de cavidad del cuarto | | | | |
|-------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 80 | 50 | .763 | .665 | .585 | .519 | .464 |
| | 30 | .730 | .615 | .526 | .454 | .398 |
| | 10 | .701 | .572 | .479 | .404 | .348 |
| 70 | 50 | .747 | .652 | .575 | .509 | .454 |
| | 30 | .716 | .604 | .519 | .440 | .393 |
| | 10 | .689 | .566 | .465 | .401 | .346 |
| 50 | 50 | .714 | .625 | .553 | .490 | .440 |
| | 30 | .689 | .586 | .505 | .438 | .385 |
| | 10 | .668 | .551 | .466 | .396 | .343 |
| 30 | 50 | .685 | .601 | .533 | .473 | .425 |
| | 30 | .666 | .569 | .492 | .428 | .376 |
| | 10 | .647 | .539 | .458 | .391 | .339 |
| 10 | 50 | .660 | .579 | .514 | .457 | .412 |
| | 30 | .643 | .551 | .479 | .417 | .369 |
| | 10 | .627 | .527 | .449 | .385 | .335 |

% Reflectancia efectiva

Radio de cavidad del cuarto

| Techo | Pared | Radio de cavidad del cuarto | | | | |
|-------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 80 | 50 | .420 | .380 | .344 | .316 | .278 |
| | 30 | .354 | .316 | .283 | .255 | .218 |
| | 10 | .308 | .273 | .239 | .213 | .180 |
| 70 | 50 | .413 | .374 | .339 | .312 | .274 |
| | 30 | .351 | .312 | .281 | .253 | .218 |
| | 10 | .305 | .270 | .238 | .213 | .180 |
| 50 | 50 | .338 | .362 | .329 | .303 | .267 |
| | 30 | .344 | .306 | .275 | .249 | .214 |
| | 10 | .303 | .267 | .236 | .212 | .178 |
| 30 | 50 | .387 | .350 | .320 | .295 | .260 |
| | 30 | .338 | .302 | .270 | .245 | .211 |
| | 10 | .300 | .264 | .234 | .210 | .176 |
| 10 | 50 | .375 | .342 | .311 | .287 | .254 |
| | 30 | .331 | .297 | .266 | .242 | .208 |
| | 10 | .296 | .262 | .233 | .208 | .175 |

Coefficiente de Utilización

Reflectancia efectiva de cavidad de piso 20%

% Reflectancia efectiva

Radio de cavidad del cuarto

| Techo | Pared | Radio de cavidad del cuarto | | | | |
|-------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 80 | 50 | .619 | .566 | .518 | .473 | .433 |
| | 30 | .601 | .538 | .485 | .435 | .392 |
| | 10 | .586 | .515 | .459 | .406 | .362 |
| 70 | 50 | .607 | .556 | .511 | .467 | .426 |
| | 30 | .590 | .530 | .480 | .431 | .389 |
| | 10 | .576 | .510 | .455 | .403 | .360 |
| 50 | 50 | .582 | .537 | .496 | .453 | .416 |
| | 30 | .569 | .516 | .469 | .423 | .383 |
| | 10 | .558 | .497 | .448 | .399 | .358 |
| 30 | 50 | .561 | .519 | .481 | .441 | .406 |
| | 30 | .551 | .503 | .459 | .415 | .376 |
| | 10 | .541 | .487 | .441 | .394 | .354 |
| 10 | 50 | .542 | .503 | .469 | .430 | .396 |
| | 30 | .533 | .489 | .450 | .407 | .371 |
| | 10 | .525 | .477 | .433 | .389 | .350 |

% Reflectancia efectiva

Radio de cavidad del cuarto

| Techo | Pared | Radio de cavidad del cuarto | | | | |
|-------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 80 | 50 | .396 | .361 | .329 | .304 | .267 |
| | 30 | .354 | .320 | .289 | .263 | .226 |
| | 10 | .326 | .292 | .260 | .234 | .199 |
| 70 | 50 | .391 | .357 | .325 | .301 | .264 |
| | 30 | .352 | .317 | .287 | .261 | .226 |
| | 10 | .323 | .289 | .259 | .234 | .199 |
| 50 | 50 | .381 | .348 | .318 | .294 | .259 |
| | 30 | .347 | .312 | .283 | .258 | .223 |
| | 10 | .321 | .287 | .257 | .233 | .198 |
| 30 | 50 | .373 | .340 | .312 | .289 | .254 |
| | 30 | .342 | .309 | .279 | .255 | .220 |
| | 10 | .319 | .285 | .256 | .232 | .196 |
| 10 | 50 | .365 | .334 | .306 | .283 | .250 |
| | 30 | .337 | .305 | .276 | .253 | .218 |
| | 10 | .316 | .283 | .254 | .230 | .195 |

9.7 INTRODUCCION AL PROYECTO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO.

Abordaremos, a continuación, la parte correspondiente al diseño de una instalación de alumbrado. Estudiaremos los requerimientos necesarios para obtener una iluminación óptima, las consideraciones que deben hacerse en el proyecto, los niveles deseados en las diferentes aplicaciones, los métodos de iluminación así como los métodos existentes para la elaboración de los cálculos en las instalaciones de alumbrado.

9.7.1 Requerimientos para una iluminación satisfactoria.

Las exigencias necesarias para que una instalación de alumbrado proporcione una iluminación satisfactoria, son las siguientes:

- a. Luz de intensidad constante suficiente sobre todas las superficies principales, sean planos verticales, horizontales u oblicuos.
- b. Una intensidad adecuada de luz sobre las áreas adyacentes y sobre las paredes.
- c. Color y carácter espectral de la luz de acuerdo a la finalidad para la cual será empleada.
- d. Luz carente de deslumbramiento y de reflexiones deslumbrantes.
- e. Luz dirigida y difundida de modo que las sombras y contrastes de intensidad sean evitados.
- f. Un efecto de iluminación acorde con el lugar y unidades luminosas que estén en armonía con el medio circundante, tanto del iluminado como del no iluminado.

g. Simplicidad, seguridad y fácil mantenimiento del sistema así como un costo inicial de funcionamiento congruente a los resultados obtenidos.

9.7.2 Consideraciones en el proyecto de una instalación de alumbrado.

La cantidad de luz que proporciona una instalación, es tomada en la mayoría de los casos como una de las características principales para el logro de una iluminación adecuada. El nivel de iluminación y la forma en que se distribuye la luz, son factores que se determinan de acuerdo a la finalidad para la cual es proyectada la instalación.

Pero no solamente una cantidad de luz suficiente y una distribución bien planeada es lo único que se necesita para lograr una buena iluminación. La buena calidad de luz es tan importante como la cantidad, y por supuesto, mucho más difícil de conseguir.

Cuando se proyecta una instalación de alumbrado, uno de los factores que hay que evitar es la presencia de cualquier tipo de deslumbramiento. El deslumbramiento, como se recordará, es cualquier brillo que nos provoca molestia, incomodidad, interferencia visual o fatiga del ojo.

El deslumbramiento directo es producido por el brillo de una fuente, ya que dependiendo de la magnitud de éste, será la molestia y la interferencia con la visión. Hay ocasiones en que áreas grandes de bajo brillo, como un panel luminoso o un cierto número de luminarias de bajo brillo pueden ser tan molestas como una sola fuente pequeña de alto brillo.

Como el deslumbramiento decrece rápidamente a medida que la fuente se aparta de la línea de visión, una luminaria suspendida en el campo de la visión produce mayor deslumbramiento que una montada por encima del ángulo visual normal.

Tan importante como la eliminación del deslumbramiento es la supresión del deslumbramiento reflejado, ya que este último puede ser tan molesto e incómodo como el directo. Las superficies brillantes como lo son muebles muy pulimentados, placas de vidrio sobre tableros de mesas y los acabados brillantes de las paredes deben ser evitados para controlar el deslumbramiento reflejado, aunque también pueden utilizarse para el mismo fin fuentes de bajo brillo y gran área.

Las excesivas relaciones de brillo en el campo de la visión o los contrastes de brillo existentes entre superficies adyacentes, incluso cuando no alcancen a producir un deslumbramiento, sí disminuyen en gran parte la calidad del alumbrado. Si existe un brillo mayor en los alrededores que en el área de trabajo, el ojo tiende a distraerse de su tarea visual, por lo que debe evitarse. Para obtener los mejores resultados es necesario lograr un adecuado equilibrio entre el brillo de la zona de trabajo y el de otras superficies del campo visual.

El factor de reflexión es el porcentaje de luz reflejada desde una superficie tal como un techo o una pared, respecto a la luz total incidente sobre la superficie.

De acuerdo a los niveles medios de iluminación usados en la actualidad, los factores de reflexión más satisfactorios en condiciones normales son mostrados en la siguiente

tabla.

FACTORES DE REFLEXION REPRESENTATIVOS

| | |
|--------------|--------|
| Techos..... | 70-90% |
| Paredes..... | 40-60% |
| Suelos..... | 20-50% |

La iluminación que resulta de la luz procedente de varias direcciones, en contraposición a la luz que procede de una sola dirección, se le llama difusa. La difusión depende del número o tamaño físico de las fuentes de luz que contribuyen a la iluminación de un punto determinado y se mide en función de la ausencia de sombras. El grado de difusión deseable depende del tipo de trabajo que vaya a realizarse.

La forma de conseguir la difusión es lograda por medio de un gran número de fuentes de luz, mediante luminarias de una gran superficie y poco brillo, también por alumbrado directo o parcialmente indirecto y mediante acabados mate de colores claros sobre techos, paredes, muebles e inclusive suelos.

La elección de las fuentes de luz depende de factores económicos y del aspecto de conjunto que se logrará. Para algunas aplicaciones, resulta más ventajosa la gran superficie de la lámpara fluorescente debido a su bajo brillo y mínimo deslumbramiento reflejado. Por otra parte, si lo que se desea es un control exacto, resultan más efectivas las fuentes más pequeñas pero de mayor brillo.

Cuando en una instalación vayan a emplearse lámparas ---

fluorescentes o de vapor de mercurio, debe procurarse no - instalarlas en lugares donde van a apagarse y encenderse - muy frecuentemente, ni someterlas a fluctuaciones de volta je excesivas.

Para elegir las luminarias, éstas deben serlo de acuerdo a las características de distribución que tengan y que deben ser las adecuadas para la instalación que se proyecta.

Para garantizar un funcionamiento eficaz y sin deterioros, las conexiones eléctricas en las luminarias deben hacerse en forma cuidadosa.

La iluminación producida por cualquier instalación va -- disminuyendo con el tiempo de uso de las lámparas y es debido al envejecimiento de las fuentes y equipo utilizado.- Es muy común en algunas instalaciones, hacer un reemplazo de todas las lámparas a un mismo tiempo después de un lapso calculado de antemano y que es un poco menor que la vida media de las lámparas. Este procedimiento llega a ser e conómico y práctico.

Cuando las luminarias se ensucian, el rendimiento de la instalación se ve disminuído, ya que existen pérdidas de - luz al tener ésta que atravesar la capa de polvo que cubre las luminarias y que llega, a veces, a cambiar las caracte rísticas mismas de distribución del equipo. Por tanto, debe tenerse en cuenta, al proyectar la instalación, hacer - lo más accesible la luminaria para su fácil limpieza.

Por último, es un compromiso en el proyecto de cualquier instalación de alumbrado, el suministrar el voltaje adecu do para el funcionamiento de la instalación ya que, como - se estudió anteriormente al analizar los tipos de fuentes- que existen, el operarlas con voltajes que no son los nomi nales repercute directamente en el rendimiento y tiempo de

vida de las mismas.

9.7.3 Niveles de iluminación.

Los niveles de iluminación recomendados por la IES (Sociedad de Ingenieros en Iluminación) para diferentes aplicaciones, son los siguientes:

| TIPO DE LOCAL O ACTIVIDAD | Iluminación media | |
|---|-------------------|----------------------|
| | Mínima (lx) | Recomendable (lx) |
| VIVIENDAS | | |
| Cuartos de baño: | | |
| -alumbrado general..... | 50 | 100 |
| -espejos..... | 200 | 500 |
| Dormitorios: | | |
| -alumbrado general..... | 50 | - |
| -espejos y cabeceras de las camas..... | 200 | 500 |
| Cocinas: | | |
| -sobre las cocinas, fregaderos y mesas..... | 100 | 200 |
| Cuartos de estar: | | |
| -alumbrado general..... | 70 | 200 |
| -lectura de corta duración..... | 150 | - |
| -lectura de larga duración..... | 300 | 500 |
| -trabajos escolares..... | 300 | 500 |
| -trabajos de costura..... | 200 | 500 |

| TIPO DE LOCAL O ACTIVIDAD | Iluminación media | |
|--|------------------------|----------------------|
| | Mínima (lx) | recomendable (lx) |
| LOCALES DE ESPECTACULOS | | |
| Vestíbulos..... | 100 | 200 |
| Salas de cines y teatros: | | |
| -durante los descansos o entrea <u>g</u> tos..... | 50 | 100 |
| -durante las proyecciones o re-- presentaciones..... | alumbrado de seguridad | |
| OFICINAS | | |
| Contabilidad, mecanografía, cál- culo, estudios, fichas y libros- de administración..... | 300 | 600 |
| Otros trabajos de oficina..... | 200 | - |
| Salas de dibujos: | | |
| -sobre tableros..... | 500 | 1,000 |
| -alumbrado general..... | 150 | - |
| Oficinas de información, salas - de recepción y espera..... | 150 | 500 |
| Archivos..... | 100 | 150 |
| BIBLIOTECAS Y MUSEOS | | |
| Bibliotecas: | | |
| -salas de lectura..... | 100 | 200 |
| -mesas de lecturas..... | 300 | 500 |
| Museos: | | |
| alumbrado general..... | 100 | - |

| TIPO DE LOCAL O ACTIVIDAD | Iluminación media | |
|--|-------------------|----------------------|
| | Mínima (lx) | Recomendable (lx) |
| -vitrinas..... | 500 | - |
| -cuadros..... | 100 | 200 |
| CENTROS DE ENSEÑANZA | | |
| Salas de conferencia o reunión.. | 200 | 500 |
| Aulas y laboratorios..... | 200 | 500 |
| Pizarras negras o coloreadas.... | 300 | 500 |
| Gimnasios..... | 150 | 300 |
| HOSPITALES Y CLINICAS | | |
| Salas de operación..... | 300 | 500 |
| Mesas de operación alumbrado especial..... | 3,000 | - |
| Habitaciones particulares y salas comunes: | | |
| -alumbrado general..... | 50 | - |
| -alumbrado de noche..... | 10 | - |
| -alumbrado localizado sobre camas..... | 200 | - |
| Salas de espera..... | 100 | - |
| Salas de reconocimiento..... | 300 | 500 |
| Laboratorios..... | 300 | 500 |
| ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES | | |
| En ciudades importantes: | | |
| -alumbrado general..... | 200 | 500 |

| TIPO DE LOCAL O ACTIVIDAD | Iluminación media | |
|--|-------------------|----------------------|
| | Mínima (lx) | Recomendable (lx) |
| -sobre los mostradores..... | 500 | 700 |
| -vitrinas interiores..... | 1,000 | - |
| Escaparates: | | |
| -en calles comerciales importantes..... | 1,000 | 3,000 |
| -en calles no comerciales..... | 500 | 1,000 |
| En pequeñas ciudades: | | |
| -alumbrado general..... | 100 | 200 |
| -sobre mostradores..... | 300 | 500 |
| -escaparates..... | 500 | 1,000 |
| HOTELERÍA, CAFETERÍAS, BARES y <u>RES</u> TAURANTES | | |
| Vestíbulos..... | 100 | 200 |
| Cocinas..... | 100 | 200 |
| Habitaciones de hoteles: | | |
| -alumbrado general..... | 100 | 200 |
| -camas, espejos y mesas..... | 200 | 500 |
| Comedores y salones de hoteles, restaurantes y cafeterías o ba- res..... | 100 | 300 |
| Barras de cafeterías o bares.... | 150 | 500 |

9.7.4 Métodos de iluminación.

La iluminación que puede conseguirse con los tipos de lu

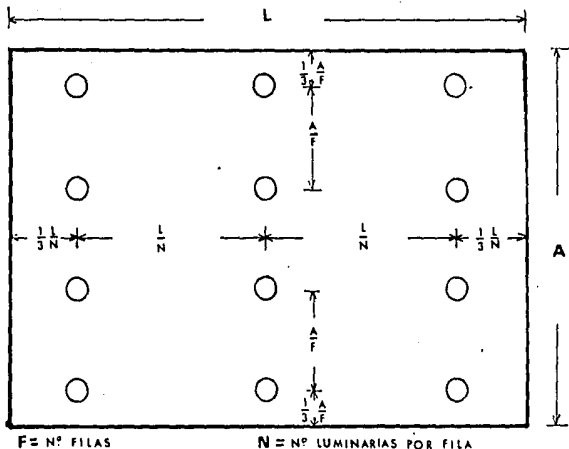
minarias estudiadas anteriormente puede ser clasificada -- también en función de la distribución de luz lograda en la zona a iluminar. De acuerdo a la disposición así como a -- las características de distribución del equipo, podemos -- clasificar la iluminación de la siguiente manera:

- a. General.
 - b. General localizada.
 - c. Suplementaria.
- a. Iluminación general.

Es aquella que se logra cuando las luminarias son dis--- puestas de tal forma que proporcionen un nivel de iluminación lo más uniforme posible en un área interior, el cual es obtenido en un mayor grado con la colocación simétrica de las luminarias necesarias para producir la luz requerida.

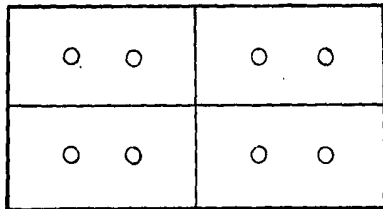
La colocación de las lámparas debe ser ajustada de modo que el número total de ellas sea divisible por el número de filas. La distancia entre lámparas se obtiene en forma exacta dividiendo la longitud de la habitación por el número de luminarias de una fila, dando una tolerancia de un tercio de dicha distancia entre la pared y la primera luminaria. De una forma similar, la distancia entre filas es la anchura de la habitación dividida por el número de filas, dejando un tercio de la distancia entre la pared y la primera fila.

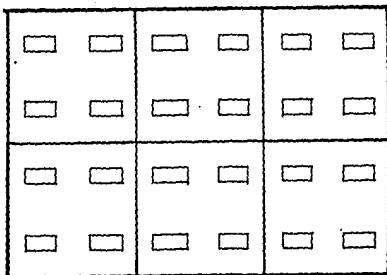
Cuando son usadas lámparas fluorescentes, se recomienda para la obtención de niveles altos de iluminación el uso de hileras continuas, lo cual ayuda a mejorar el aspecto general aparte de la fácil instalación de los conductores.



La relación que debe existir entre la separación y la altura de montaje debe estar comprendida entre los límites - marcados por las características de distribución de las luminarias.

Las siguientes son algunas de las disposiciones típicas de luminarias para alumbrado general.





b. Iluminación general localizada.

Este tipo de iluminación se logra colocando los equipos de alumbrado general en zonas especiales de trabajo donde se requieran altas intensidades, bastando con la luz emitida por las luminarias que proporcionan las intensidades altas para la iluminación de los alrededores.

Las luminarias de tipo directo, semidirecto y directo-indirecto, son las más utilizadas por la necesidad de disponer de una notable componente directa siempre que se trate de concentrar la mayor parte de la luz sobre una zona restringida debajo de la luminaria. Este método se utiliza en forma ventajosa para la iluminación de los puntos de trabajo de las grandes máquinas, los mostradores comerciales y los bancos de trabajo de las fábricas.

c. Iluminación suplementaria.

Este método de iluminación proporciona intensidades relativamente altas en puntos específicos de trabajo mediante la combinación de un equipo de alumbrado directo combinado con la iluminación general localizada. Es utilizado fre---

cuentemente cuando se trata de tareas visuales especiales y no es posible proporcionar mayor intensidad por ninguno de los otros métodos, o también, cuando es requerida luz de calidad direccional para ciertas operaciones de inspección.

El equipo utilizado varía con la curva de distribución según el área a cubrir, la distancia del equipo al punto de trabajo y el nivel luminoso requerido. Es muy importante mantener una relación razonable entre las intensidades del alumbrado general y del suplementario, ya que una excesiva relación de brillos entre el punto de trabajo y los alrededores crea unas condiciones desagradables para la visión.

9.7.5 Cálculo de una instalación de alumbrado.

Los métodos empleados en el cálculo de la iluminación de una instalación de alumbrado son los siguientes:

| | | |
|----------------------|---|------------------------------|
| ILUMINACION INTERIOR | } | Método de lumen promedio |
| | | Método punto por punto |
| | | Método de la cavidad de zona |
| ILUMINACION EXTERIOR | } | Método del haz de lúmenes |

A. Método de lumen promedio.

Una gran mayoría de los cálculos de iluminación interior

son realizados por el método del lumen promedio.

Para su aplicación, partimos de una fórmula básica que nos relaciona los diferentes factores implícitos en el cálculo. Dicha fórmula es la siguiente:

$$N = \frac{(E)(A)}{(F)(F_m)(FD)(CU)}$$

N = Número de luminarias

E = Nivel luminoso

A = Superficie a iluminar

F = Flujo luminoso emitido por la luminaria

F_m = Factor de mantenimiento

FD = Factor de depreciación

CU = Coeficiente de utilización.

a. Nivel luminoso.

El nivel luminoso requerido mínimo puede ser encontrado en las tablas proporcionadas anteriormente, el cual es aumentado un poco más dependiendo de la aplicación deseada.

b. Superficie a iluminar.

La superficie a iluminar se evalúa simplemente multiplicando la longitud del local por la anchura del mismo. La superficie debe ser expresada en metros cuadrados.

c. Flujo luminoso emitido por la luminaria.

Este es un dato proporcionado por el fabricante en la hoja de datos correspondiente a la luminaria, la cual incluye también la curva de distribución y una tabla necesaria-

para la obtención del coeficiente de utilización correspondiente.

d. Factor de mantenimiento.

El factor de mantenimiento es una medida de la disminución en la emisión luminosa debida a la suciedad acumulada en la luminaria durante su operación, y que depende del medio ambiente en el cual se encuentre. Dependiendo del tipo de iluminación requerido y clasificando el medio como limpio, medio y sucio, el factor de mantenimiento para periodos de 1,000 horas entre limpieza de las luminarias, puede ser calculado de la siguiente tabla.

| Condición | Directo | Semidirecto | Semiindirecto | Indirecto |
|-----------|---------|-------------|---------------|-----------|
| Limpio | 0.90 | 0.85 | 0.80 | 0.80 |
| Medio | 0.85 | 0.80 | 0.70 | 0.70 |
| Sucio | 0.75 | 0.65 | 0.65 | 0.60 |

TABLA I. Factores de mantenimiento (F_m)

e. Factor de depreciación.

Este factor es una medida proporcional de la cantidad de luz que se pierde durante el tiempo de vida de las lámparas utilizadas en la instalación y que es debido al envejecimiento de las unidades.

Para encontrar el factor de depreciación habrá que recurrir a la tabla II y buscar el tipo de fuente de luz utilizada.

En la siguiente página se muestra la tabla II para factores de depreciación de algunas lámparas de uso común.

| VATIOS | TIPO | FD |
|--------|------------------------|------|
| 60 | Incandescente A-19 | 0.95 |
| 75 | Incandescente A-19 | 0.93 |
| 100 | Incandescente A-21 | 0.95 |
| 300 | Incandescente PS-30 | 0.88 |
| 500 | Incandescente PS-40 | 0.89 |
| 1,500 | Incandescente PS-52 | 0.87 |
| 38 | F48 Fluorescente T125L | 0.87 |
| 40 | F48 Fluorescente T12 | 0.91 |
| 74 | F96 Fluorescente T125L | 0.88 |
| 215 | F96 PG 17 | 0.89 |
| 250 | H375 KBVM | 0.94 |
| 400 | H33 | 0.93 |

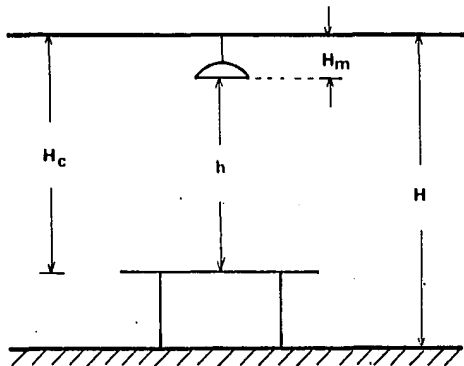
TABLA II. Factores de depreciación (FD)

f. Coeficiente de utilización.

El coeficiente de utilización es la relación entre los lúmenes que alcanzan el plano de trabajo y los lúmenes totales generados por la lámpara. Para determinar este factor se toman en cuenta la altura de montaje de la luminaria, las dimensiones del local y las reflectancias de las paredes, techo y piso.

Para poder encontrar el coeficiente de utilización es necesario, primeramente, calcular el índice de cuarto (I_c), el cual depende de cuestiones geométricas y que puede en-

contrarse a partir de las siguientes relaciones:



L = Largo

H = Altura del local

a = Ancho

h = Distancia de la luminaria a la superficie de trabajo

H_m = Altura de montaje

H_c = H - Altura de la superficie de trabajo

Indice de cuarto para iluminación directa:

$$I_c = \frac{(L)(a)}{(h)(L + a)}$$

Indice de cuarto para iluminación indirecta y semiindirecta:

$$I_c = \frac{(3)(L)(a)}{(2H_c)(L + a)}$$

Indice de cuarto para iluminación de pasillos angostos y altos:

$$I_c = \frac{L + 2a}{6h}$$

Conociendo el índice de cuarto para la aplicación deseada y basándonos en los valores de reflectancia de techo, piso y paredes, buscamos en los datos de la luminaria proporcionados por el fabricante el valor correspondiente a nuestro coeficiente de utilización.

Ejemplo 1

Realizar el cálculo para la iluminación de la sala de lecturas de una biblioteca.

Dimensiones: Largo = 30 m
 Ancho = 18 m
 Altura = 3.5 m
 Altura de montaje = 0
 Plano de trabajo = 80 cm

Reflectancias: Piso = 30%
 Techo = 80%
 Pared = 50%

Procedimiento

a. El nivel luminoso mínimo según los valores proporcionados anteriormente es de 300 luxes, por lo cual tomaremos un valor de 550 luxes para nuestro cálculo.

b. El luminario elegido es un luminario fluorescente marca Holophane mod. 6151-M, el cual funciona con dos lámparas de 40 vatios y tiene una emisión de 5,300 lúmenes iniciales. Se adjunta la hoja de datos proporcionada por el fabricante.

c. Para elegir nuestro factor de mantenimiento escogemos el tipo de iluminación directa para nuestro proyecto. Como en una biblioteca la suciedad que se acumulará en nuestras luminarias será mínima, tomamos como 0.90 el valor de nuestro factor de mantenimiento, el cual corresponde a la condición limpio y alumbrado directo. (Ver tabla I)

d. Para nuestro factor de depreciación, debemos tener en cuenta que las lámparas utilizadas son fluorescentes de 40 vatios, la cual tiene un valor de 0.91 en la tabla II.

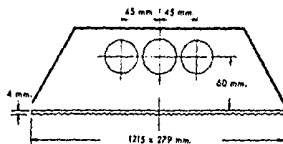
e. Para encontrar el coeficiente de utilización debemos calcular el índice de cuarto correspondiente.

$$I_c = \frac{(L)(a)}{(h)(L + a)} = \frac{(30)(18)}{(3.5 - 0.8)(30 + 18)} = 4.16$$

Habiendo calculado el índice de cuarto, buscamos en los datos del fabricante el coeficiente de utilización que corresponda a una reflectancia de piso del 30%, una de 80% para el techo y de 50% para las paredes. Como en los datos del fabricante los índices de cuarto aparecen en números enteros y en nuestro cálculo resultó 4.16, tomamos 4.0 co-

CONTROLENTE* HOLOPHANE* No. 6151-M

DATOS TECNICOS

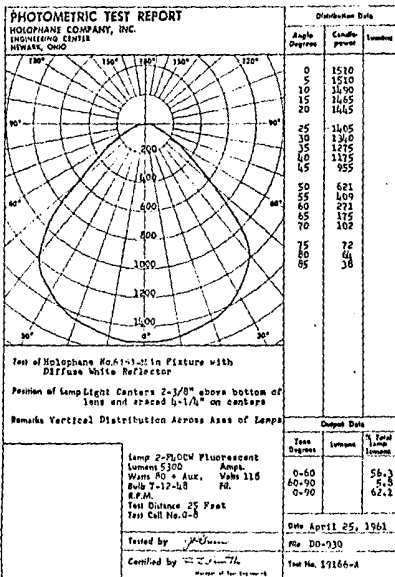


Dimensiones en mm. Localización de lámparas para obtener una máxima eficiencia y la distribución fotométrica indicada a la derecha.

ESPECIFICACIONES

Este controlente se fabrica por inyección de plástico acrílico cristalino. Mide 1215 mm. de largo por 279 mm. de ancho y 4 mm. de espesor. Su cara inferior es plana con una configuración simétrica uniforme con prismas de base hexagonal y cuadrada. Su cara superior es lisa.

Espaciamento máximo entre luminarios para obtener una iluminación uniforme sobre el plano de trabajo: 1.5 veces la altura de montaje sobre dicho plano.



Distribución fotométrica del controlente No. 6151-M con 2 lámparas fluorescentes de 40w 5300 lúmenes.

COEFICIENTES DE UTILIZACION

para 2 lámparas fluorescentes de 40 w, 5300 lúmenes

| Piso Techo Pared | 30% | | | | | | 50% | | | | | |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | 80% | | 30% | | 50% | | 80% | | 30% | | 50% | |
| | 50% | 30% | 50% | 30% | 50% | 30% | 50% | 30% | 50% | 30% | 50% | |
| J | 0.6 | .31 | .27 | .30 | .26 | .30 | .26 | .29 | .26 | | | |
| I | 0.8 | .40 | .35 | .38 | .34 | .38 | .34 | .37 | .33 | | | |
| H | 1.0 | .45 | .40 | .43 | .39 | .43 | .39 | .42 | .38 | | | |
| Q | 1.25 | .50 | .45 | .48 | .44 | .47 | .43 | .46 | .43 | | | |
| F | 1.5 | .55 | .49 | .52 | .48 | .51 | .47 | .49 | .46 | | | |
| Z | 2.0 | .60 | .55 | .56 | .52 | .54 | .51 | .52 | .50 | | | |
| O | 2.5 | .63 | .59 | .59 | .56 | .57 | .54 | .55 | .53 | | | |
| C | 3.0 | .66 | .62 | .61 | .58 | .59 | .56 | .57 | .55 | | | |
| B | 4.0 | .69 | .66 | .64 | .61 | .61 | .58 | .59 | .57 | | | |
| A | 5.0 | .71 | .68 | .65 | .63 | .62 | .60 | .60 | .59 | | | |

BRILLANTEZ MEDIA

En Pie Lamberts

| Angulo Vertical | Transv. al eje | plana a 45° | A lo largo del eje |
|-----------------|----------------|-------------|--------------------|
| 60° | 540 | 465 | 370 |
| 65° | 415 | 440 | 325 |
| 70° | 300 | 440 | 300 |
| 75° | 280 | 395 | 335 |
| 80° | 365 | 355 | 385 |
| 85° | 435 | 355 | 365 |

mo nuestro índice ya que es el número al que más se acerca 4.16. De esa forma, obtenemos 0.69 como el valor de nuestro coeficiente de utilización.

En la hoja adjunta que contiene los datos de la luminaria empleada, se han subrayado los valores utilizados.

Habiendo obtenido todos nuestros datos, podemos ahora -- calcular el número de luminarias necesarias sustituyendo -- los valores en la fórmula básica.

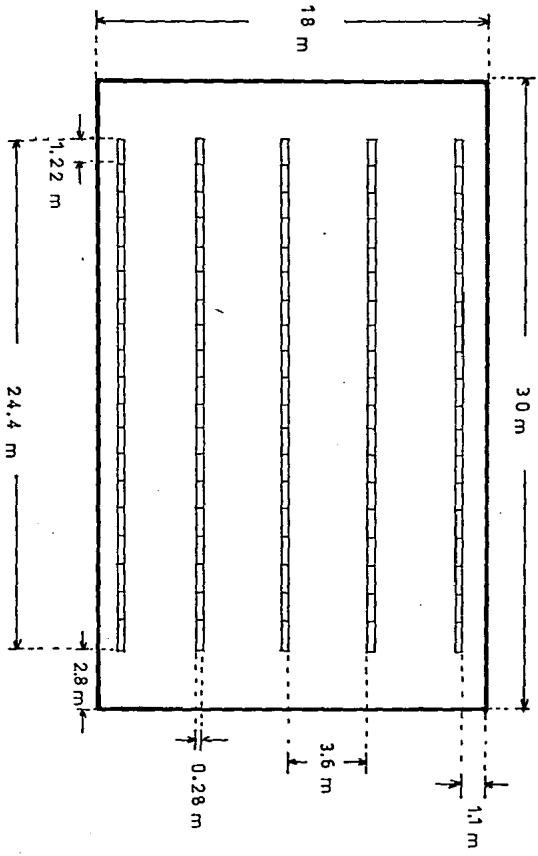
$$N = \frac{(550)(540)}{(5,300)(0.90)(0.91)(0.69)}$$

$$N = 99.16 \text{ luminarias}$$

Tomaremos 100 como nuestro número de luminarias necesarias.

De los arreglos posibles que podemos tomar, elegiremos -- el de 20 x 5, es decir, 5 filas de 20 luminarias cada fila. La distribución empleada es para alumbrado general y -- será calculada tomando en cuenta las dimensiones de las luminarias, las cuales se encuentran especificadas en la hoja de datos.

La distribución final se muestra en la siguiente hoja, -- así como las acotaciones correspondientes.

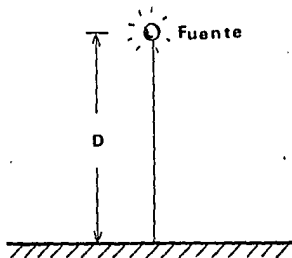


B. Método punto por punto.

Este método se basa en la ley de la inversa de los cuadrados en la cual, como se recordará, la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente de luz al punto en que se mide.

Las siguientes fórmulas se aplican a este método:

a. Iluminación sobre cualquier plano perpendicular a la fuente.



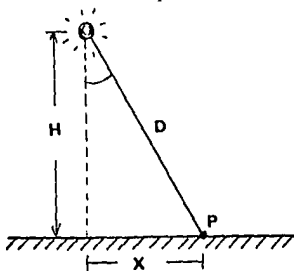
$$E = \frac{I}{D^2}$$

E = Nivel de iluminación en lux

I = Intensidad de la fuente en cd

D = Distancia en metros

b. Iluminación sobre un plano horizontal



$$E_h = \frac{I \cos \phi}{D^2} = \frac{IH}{D^3} \quad \cos \phi = \frac{H}{D}$$

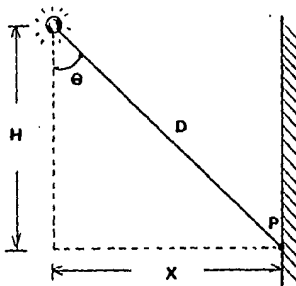
E_h = Iluminación en el punto P en un plano horizontal.

I = Intensidad luminosa de la fuente en candelas.

H, D = Distancias en metros.

ϕ = Angulo comprendido entre el rayo incidente y la vertical.

c. Iluminación sobre un plano vertical.



$$E_v = \frac{I \text{ sen } \phi}{D^2} = \frac{IX}{D^3} \quad \text{sen } \phi = \frac{X}{D}$$

E_v = Iluminación en el punto P en un plano vertical.

I = Intensidad luminosa de la fuente en candelas.

X, D = Distancias en metros.

ϕ = Angulo comprendido entre el rayo incidente y la vertical.

Los cálculos de la iluminación en un punto se obtienen -
sumando la iluminación debida a las fuentes existentes en
el punto estudiado.

Para n fuentes:

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

E_t = Iluminación total en el punto P debida a n fuentes.

E_1 = Iluminación de la fuente 1 en el punto P.

E_2 = Iluminación de la fuente 2 en el punto P.

E_3 = Iluminación de la fuente 3 en el punto P.

E_n = Iluminación de la fuente n en el punto P.

Por lo regular, este método es empleado en iluminación -
directa de tipo localizado, en la cual únicamente necesita
mos tomar en cuenta una fuente de luz, haciéndose los cál-
culos demasiado tediosos si son muchas las fuentes implica
das.

Ejemplo 2

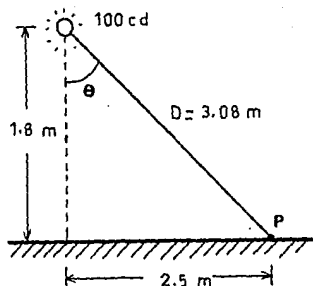
Una fuente puntual de 100 candelas está situada 1.8 me-
tros arriba y 2.5 metros a la izquierda de un punto P. ¿ -
Cuál es la iluminación en ese punto?

Procedimiento

a. Primeramente dibujamos un esquema que nos muestre la-
fuente y el punto P.

$$H = 1.8 \text{ m}$$

$$X = 2.5 \text{ m}$$



b. Para encontrar la iluminación, aplicamos la fórmula para encontrar E_h . Calculamos la distancia D con el teorema de Pitágoras y sustituimos los valores.

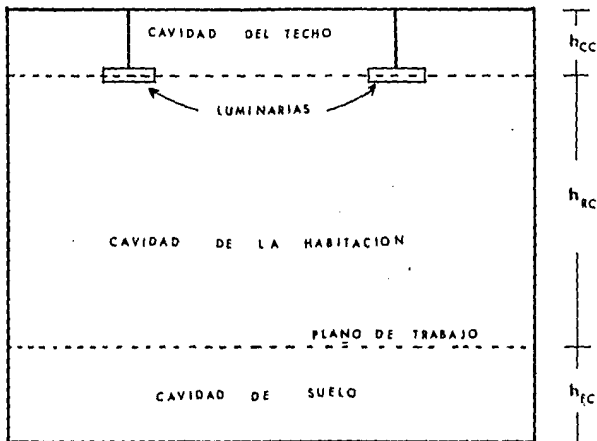
$$E_h = \frac{IH}{D^3} = \frac{(100)(1.8)}{(3.08)^3} = 6.16 \text{ luxes}$$

C. Método de la cavidad de la zona.

Este método, también llamado de cavidad zonal, se basa en el concepto de la interreflexión de la luz que nos conduce a datos más exactos del coeficiente de utilización, proporcionándonos, además, una mayor flexibilidad en los cálculos. Difiere del método de lumen promedio en la forma en que se obtiene el coeficiente de utilización.

El método de la cavidad de zona supone que un área a iluminar consta de una serie de cavidades que tienen reflectancias efectivas unas respecto a otras y al plano de trabajo. La zona a iluminar se divide en tres espacios o cavi

dades, las cuales son mostradas en la siguiente ilustración:



Este método, para su aplicación, consta de cuatro pasos o etapas que deben seguirse al hacer un cálculo:

- 1o. Determinar relaciones de cavidad.
- 2o. Determinar las reflectancias efectivas de cavidad.
- 3o. Obtener el coeficiente de utilización.
- 4o. Calcular el número de unidades y su distribución.

El factor de depreciación y el factor de mantenimiento - se obtienen con las tablas I y II, de la misma forma que - se hizo anteriormente.

Ejemplo 3

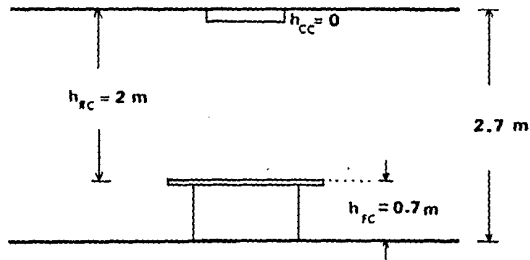
Realizar los cálculos para la iluminación de un local pa-
ra oficina general con un nivel de iluminación de 500 lu-
xes, aproximadamente.

Dimensiones: Largo = 7.2 m
Ancho = 4.8 m
Altura = 2.7 m
Altura de montaje = 0 . .
Plano de trabajo = 0.7 m

Reflectancias: Piso = 30%
Techo = 50%
Pared = 50%

Procedimiento

a. Primeramente dibujamos un esquema con las dimensiones necesarias.



10. Determinar las relaciones de cavidad.

Las relaciones de cavidad pueden ser calculadas a partir de las siguientes fórmulas:

a. Relación de cavidad de techo (CCR).

$$CCR = \frac{5 h_{CC}(a + L)}{(a)(L)}$$

b. Relación de cavidad de cuarto (RCR).

$$RCR = \frac{5 h_{RC}(a + L)}{(a)(L)}$$

c. Relación de cavidad de piso (FCR).

$$FCR = \frac{5 h_{FC}(a + L)}{(a)(L)}$$

Las fórmulas anteriores nos proporcionan una forma exacta de cálculos para las relaciones de cavidad, aunque también pueden ser obtenidas de la tabla III. Dependiendo de la relación deseada, la altura de cavidad corresponderá al valor h_{CC} , h_{RC} ó h_{FC} .

20. Determinar las reflectancias efectivas de cavidad.

La reflectancia efectiva de la cavidad del techo, p_{CC} , es una combinación de la reflectancias reales de la pared-

| Dimensiones del lateral | Anchura | Altura de la cavidad | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 | 13,20 | 14,40 | 15,60 | 16,80 | 18,00 | 19,20 | 20,40 |
| 2,40 | 2,40 | 0,77 | 0,81 | 0,85 | 0,87 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45 |
| 2,40 | 4,80 | 1,15 | 1,18 | 1,22 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,50 | 1,55 | 1,60 | 1,65 | 1,70 | 1,75 | 1,80 | 1,85 |
| 2,40 | 6,00 | 1,27 | 1,30 | 1,34 | 1,38 | 1,42 | 1,46 | 1,50 | 1,54 | 1,58 | 1,62 | 1,66 | 1,70 | 1,74 | 1,78 | 1,82 | 1,86 |
| 2,40 | 8,40 | 1,52 | 1,55 | 1,59 | 1,63 | 1,67 | 1,71 | 1,75 | 1,79 | 1,83 | 1,87 | 1,91 | 1,95 | 1,99 | 2,03 | 2,07 | 2,11 |
| 2,40 | 12,00 | 1,87 | 1,90 | 1,94 | 1,98 | 2,02 | 2,06 | 2,10 | 2,14 | 2,18 | 2,22 | 2,26 | 2,30 | 2,34 | 2,38 | 2,42 | 2,46 |
| 3 | 2,40 | 1,10 | 1,13 | 1,17 | 1,20 | 1,24 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,40 | 1,44 | 1,48 | 1,52 | 1,56 | 1,60 | 1,64 | 1,68 |
| 3 | 4,80 | 1,54 | 1,57 | 1,61 | 1,64 | 1,68 | 1,72 | 1,76 | 1,80 | 1,84 | 1,88 | 1,92 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 |
| 3 | 6,00 | 1,67 | 1,70 | 1,74 | 1,78 | 1,82 | 1,86 | 1,90 | 1,94 | 1,98 | 2,02 | 2,06 | 2,10 | 2,14 | 2,18 | 2,22 | 2,26 |
| 3 | 8,40 | 1,93 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 | 2,16 | 2,20 | 2,24 | 2,28 | 2,32 | 2,36 | 2,40 | 2,44 | 2,48 | 2,52 |
| 3 | 12,00 | 2,30 | 2,33 | 2,37 | 2,41 | 2,45 | 2,49 | 2,53 | 2,57 | 2,61 | 2,65 | 2,69 | 2,73 | 2,77 | 2,81 | 2,85 | 2,89 |
| 3,60 | 2,40 | 0,87 | 1,17 | 1,21 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 1,37 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,53 | 1,57 | 1,61 | 1,65 | 1,69 | 1,73 |
| 3,60 | 4,80 | 1,27 | 1,30 | 1,34 | 1,38 | 1,42 | 1,46 | 1,50 | 1,54 | 1,58 | 1,62 | 1,66 | 1,70 | 1,74 | 1,78 | 1,82 | 1,86 |
| 3,60 | 7,20 | 1,57 | 1,60 | 1,64 | 1,68 | 1,72 | 1,76 | 1,80 | 1,84 | 1,88 | 1,92 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 | 2,16 |
| 3,60 | 10,80 | 1,92 | 1,95 | 1,99 | 2,03 | 2,07 | 2,11 | 2,15 | 2,19 | 2,23 | 2,27 | 2,31 | 2,35 | 2,39 | 2,43 | 2,47 | 2,51 |
| 3,60 | 15 | 2,27 | 2,30 | 2,34 | 2,38 | 2,42 | 2,46 | 2,50 | 2,54 | 2,58 | 2,62 | 2,66 | 2,70 | 2,74 | 2,78 | 2,82 | 2,86 |
| 4 | 2,40 | 0,77 | 0,81 | 0,85 | 0,87 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45 |
| 4 | 4,80 | 1,15 | 1,18 | 1,22 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,50 | 1,55 | 1,60 | 1,65 | 1,70 | 1,75 | 1,80 | 1,85 |
| 4 | 6,00 | 1,27 | 1,30 | 1,34 | 1,38 | 1,42 | 1,46 | 1,50 | 1,54 | 1,58 | 1,62 | 1,66 | 1,70 | 1,74 | 1,78 | 1,82 | 1,86 |
| 4 | 8,40 | 1,52 | 1,55 | 1,59 | 1,63 | 1,67 | 1,71 | 1,75 | 1,79 | 1,83 | 1,87 | 1,91 | 1,95 | 1,99 | 2,03 | 2,07 | 2,11 |
| 4 | 12,00 | 1,87 | 1,90 | 1,94 | 1,98 | 2,02 | 2,06 | 2,10 | 2,14 | 2,18 | 2,22 | 2,26 | 2,30 | 2,34 | 2,38 | 2,42 | 2,46 |
| 4,70 | 2,40 | 1,10 | 1,13 | 1,17 | 1,20 | 1,24 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,40 | 1,44 | 1,48 | 1,52 | 1,56 | 1,60 | 1,64 | 1,68 |
| 4,70 | 4,80 | 1,54 | 1,57 | 1,61 | 1,64 | 1,68 | 1,72 | 1,76 | 1,80 | 1,84 | 1,88 | 1,92 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 |
| 4,70 | 6,00 | 1,67 | 1,70 | 1,74 | 1,78 | 1,82 | 1,86 | 1,90 | 1,94 | 1,98 | 2,02 | 2,06 | 2,10 | 2,14 | 2,18 | 2,22 | 2,26 |
| 4,70 | 8,40 | 1,93 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 | 2,16 | 2,20 | 2,24 | 2,28 | 2,32 | 2,36 | 2,40 | 2,44 | 2,48 | 2,52 |
| 4,70 | 12,00 | 2,30 | 2,33 | 2,37 | 2,41 | 2,45 | 2,49 | 2,53 | 2,57 | 2,61 | 2,65 | 2,69 | 2,73 | 2,77 | 2,81 | 2,85 | 2,89 |
| 5,10 | 2,40 | 0,87 | 1,17 | 1,21 | 1,25 | 1,29 | 1,33 | 1,37 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,53 | 1,57 | 1,61 | 1,65 | 1,69 | 1,73 |
| 5,10 | 4,80 | 1,27 | 1,30 | 1,34 | 1,38 | 1,42 | 1,46 | 1,50 | 1,54 | 1,58 | 1,62 | 1,66 | 1,70 | 1,74 | 1,78 | 1,82 | 1,86 |
| 5,10 | 7,20 | 1,57 | 1,60 | 1,64 | 1,68 | 1,72 | 1,76 | 1,80 | 1,84 | 1,88 | 1,92 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 | 2,16 |
| 5,10 | 10,80 | 1,92 | 1,95 | 1,99 | 2,03 | 2,07 | 2,11 | 2,15 | 2,19 | 2,23 | 2,27 | 2,31 | 2,35 | 2,39 | 2,43 | 2,47 | 2,51 |
| 5,10 | 15 | 2,27 | 2,30 | 2,34 | 2,38 | 2,42 | 2,46 | 2,50 | 2,54 | 2,58 | 2,62 | 2,66 | 2,70 | 2,74 | 2,78 | 2,82 | 2,86 |
| 6 | 2,40 | 1,10 | 1,13 | 1,17 | 1,20 | 1,24 | 1,28 | 1,32 | 1,36 | 1,40 | 1,44 | 1,48 | 1,52 | 1,56 | 1,60 | 1,64 | 1,68 |
| 6 | 4,80 | 1,54 | 1,57 | 1,61 | 1,64 | 1,68 | 1,72 | 1,76 | 1,80 | 1,84 | 1,88 | 1,92 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 |
| 6 | 6,00 | 1,67 | 1,70 | 1,74 | 1,78 | 1,82 | 1,86 | 1,90 | 1,94 | 1,98 | 2,02 | 2,06 | 2,10 | 2,14 | 2,18 | 2,22 | 2,26 |
| 6 | 8,40 | 1,93 | 1,96 | 2,00 | 2,04 | 2,08 | 2,12 | 2,16 | 2,20 | 2,24 | 2,28 | 2,32 | 2,36 | 2,40 | 2,44 | 2,48 | 2,52 |
| 6 | 12,00 | 2,30 | 2,33 | 2,37 | 2,41 | 2,45 | 2,49 | 2,53 | 2,57 | 2,61 | 2,65 | 2,69 | 2,73 | 2,77 | 2,81 | 2,85 | 2,89 |
| 6 | 15 | 2,65 | 2,68 | 2,72 | 2,76 | 2,80 | 2,84 | 2,88 | 2,92 | 2,96 | 3,00 | 3,04 | 3,08 | 3,12 | 3,16 | 3,20 | 3,24 |
| 6 | 18 | 3,00 | 3,03 | 3,07 | 3,11 | 3,15 | 3,19 | 3,23 | 3,27 | 3,31 | 3,35 | 3,39 | 3,43 | 3,47 | 3,51 | 3,55 | 3,59 |
| 6 | 21 | 3,35 | 3,38 | 3,42 | 3,46 | 3,50 | 3,54 | 3,58 | 3,62 | 3,66 | 3,70 | 3,74 | 3,78 | 3,82 | 3,86 | 3,90 | 3,94 |
| 6 | 24 | 3,70 | 3,73 | 3,77 | 3,81 | 3,85 | 3,89 | 3,93 | 3,97 | 4,01 | 4,05 | 4,09 | 4,13 | 4,17 | 4,21 | 4,25 | 4,29 |
| 6 | 27 | 4,05 | 4,08 | 4,12 | 4,16 | 4,20 | 4,24 | 4,28 | 4,32 | 4,36 | 4,40 | 4,44 | 4,48 | 4,52 | 4,56 | 4,60 | 4,64 |
| 6 | 30 | 4,40 | 4,43 | 4,47 | 4,51 | 4,55 | 4,59 | 4,63 | 4,67 | 4,71 | 4,75 | 4,79 | 4,83 | 4,87 | 4,91 | 4,95 | 4,99 |
| 6 | 33 | 4,75 | 4,78 | 4,82 | 4,86 | 4,90 | 4,94 | 4,98 | 5,02 | 5,06 | 5,10 | 5,14 | 5,18 | 5,22 | 5,26 | 5,30 | 5,34 |
| 6 | 36 | 5,10 | 5,13 | 5,17 | 5,21 | 5,25 | 5,29 | 5,33 | 5,37 | 5,41 | 5,45 | 5,49 | 5,53 | 5,57 | 5,61 | 5,65 | 5,69 |
| 6 | 39 | 5,45 | 5,48 | 5,52 | 5,56 | 5,60 | 5,64 | 5,68 | 5,72 | 5,76 | 5,80 | 5,84 | 5,88 | 5,92 | 5,96 | 6,00 | 6,04 |
| 6 | 42 | 5,80 | 5,83 | 5,87 | 5,91 | 5,95 | 5,99 | 6,03 | 6,07 | 6,11 | 6,15 | 6,19 | 6,23 | 6,27 | 6,31 | 6,35 | 6,39 |
| 6 | 45 | 6,15 | 6,18 | 6,22 | 6,26 | 6,30 | 6,34 | 6,38 | 6,42 | 6,46 | 6,50 | 6,54 | 6,58 | 6,62 | 6,66 | 6,70 | 6,74 |
| 6 | 48 | 6,50 | 6,53 | 6,57 | 6,61 | 6,65 | 6,69 | 6,73 | 6,77 | 6,81 | 6,85 | 6,89 | 6,93 | 6,97 | 7,01 | 7,05 | 7,09 |
| 6 | 51 | 6,85 | 6,88 | 6,92 | 6,96 | 7,00 | 7,04 | 7,08 | 7,12 | 7,16 | 7,20 | 7,24 | 7,28 | 7,32 | 7,36 | 7,40 | 7,44 |
| 6 | 54 | 7,20 | 7,23 | 7,27 | 7,31 | 7,35 | 7,39 | 7,43 | 7,47 | 7,51 | 7,55 | 7,59 | 7,63 | 7,67 | 7,71 | 7,75 | 7,79 |
| 6 | 57 | 7,55 | 7,58 | 7,62 | 7,66 | 7,70 | 7,74 | 7,78 | 7,82 | 7,86 | 7,90 | 7,94 | 7,98 | 8,02 | 8,06 | 8,10 | 8,14 |
| 6 | 60 | 7,90 | 7,93 | 7,97 | 8,01 | 8,05 | 8,09 | 8,13 | 8,17 | 8,21 | 8,25 | 8,29 | 8,33 | 8,37 | 8,41 | 8,45 | 8,49 |
| 6 | 63 | 8,25 | 8,28 | 8,32 | 8,36 | 8,40 | 8,44 | 8,48 | 8,52 | 8,56 | 8,60 | 8,64 | 8,68 | 8,72 | 8,76 | 8,80 | 8,84 |
| 6 | 66 | 8,60 | 8,63 | 8,67 | 8,71 | 8,75 | 8,79 | 8,83 | 8,87 | 8,91 | 8,95 | 8,99 | 9,03 | 9,07 | 9,11 | 9,15 | 9,19 |
| 6 | 69 | 8,95 | 8,98 | 9,02 | 9,06 | 9,10 | 9,14 | 9,18 | 9,22 | 9,26 | 9,30 | 9,34 | 9,38 | 9,42 | 9,46 | 9,50 | 9,54 |
| 6 | 72 | 9,30 | 9,33 | 9,37 | 9,41 | 9,45 | 9,49 | 9,53 | 9,57 | 9,61 | 9,65 | 9,69 | 9,73 | 9,77 | 9,81 | 9,85 | 9,89 |
| 6 | 75 | 9,65 | 9,68 | 9,72 | 9,76 | 9,80 | 9,84 | 9,88 | 9,92 | 9,96 | 10,00 | 10,04 | 10,08 | 10,12 | 10,16 | 10,20 | 10,24 |
| 6 | 78 | 10,00 | 10,03 | 10,07 | 10,11 | 10,15 | 10,19 | 10,23 | 10,27 | 10,31 | 10,35 | 10,39 | 10,43 | 10,47 | 10,51 | 10,55 | 10,59 |
| 6 | 81 | 10,35 | 10,38 | 10,42 | 10,46 | 10,50 | 10,54 | 10,58 | 10,62 | 10,66 | 10,70 | 10,74 | 10,78 | 10,82 | 10,86 | 10,90 | 10,94 |
| 6 | 84 | 10,70 | 10,73 | 10,77 | 10,81 | 10,85 | 10,89 | 10,93 | 10,97 | 11,01 | 11,05 | 11,09 | 11,13 | 11,17 | 11,21 | 11,25 | 11,29 |
| 6 | 87 | 11,05 | 11,08 | 11,12 | 11,16 | 11,20 | 11,24 | 11,28 | 11,32 | 11,36 | 11,40 | 11,44 | 11,48 | 11,52 | 11,56 | 11,60 | 11,64 |
| 6 | 90 | 11,40 | 11,43 | 11,47 | 11,51 | 11,55 | 11,59 | 11,63 | 11,67 | 11,71 | 11,75 | 11,79 | 11,83 | 11,87 | 11,91 | 11,95 | 11,99 |
| 6 | 93 | 11,75 | 11,78 | 11,82 | 11,86 | 11,90 | 11,94 | 11,98 | 12,02 | 12,06 | 12,10 | 12,14 | 12,18 | 12,22 | 12,26 | 12,30 | 12,34 |
| 6 | 96 | 12,10 | 12,13 | 12,17 | 12,21 | 12,25 | 12,29 | 12,33 | 12,37 | 12,41 | 12,45 | 12,49 | 12,53 | 12,57 | 12,61 | 12,65 | 12,69 |
| 6 | 99 | 12,45 | 12,48 | 12,52 | 12,56 | 12,60 | 12,64 | 12,68 | 12,72 | 12,76 | 12,80 | 12,84 | 12,88 | 12,92 | 12,96 | 13,00 | 13,04 |
| 6 | 102 | 12,80 | 12,83 | 12,87 | 12,91 | 12,95 | 12,99 | 13,03 | 13,07 | 13,11 | 13,15 | 13,19 | 13,23 | 13,27 | 13,31 | 13,35 | 13,39 |
| 6 | 105 | 13,15 | 13,18 | 13,22 | 13,26 | 13,30 | 13,34 | 13,38 | 13,42 | 13,46 | 13,50 | 13,54 | 13,58 | 13,62 | 13,66 | 13,70 | 13,74 |
| 6 | 108 | 13,50 | 13,53 | 13,57 | 13,61 | 13,65 | 13,69 | 13,73 | 13,77 | 13,81 | 13,85 | 13,89 | 13,93 | 13,97 | 14,01 | 14,05 | 14,09 |
| 6 | 111 | 13,85 | 13,88 | 13,92 | 13,96 | 14,00 | 14,04 | 14,08 | 14,12 | 14,16 | 14,20 | 14,24 | 14,28 | 14,32 | 14,36 | 14,40 | 14,44 |
| 6 | 114 | 14,20 | 14,23 | 14,27 | 14,31 | 14,35 | 14,39 | 14,43 | 14,47 | 14,51 | 14,55 | 14,59 | 14,63 | 14,67 | 14,71 | 14,75 | 14,79 |
| 6 | 117 | 14,55 | 14,58 | 14,62 | 14,66 | 14,70 | 14,74 | 14,78 | 14,82 | 14,86 | 14,90 | 14,94 | 14,98 | 15,02 | 15,06 | 15,10 | 15,14 |
| 6 | 120 | 14,90 | 14,93 | 14,97 | 15,01 | 15,05 | 15,09 | 15,13 | 15,17 | 15,21 | 15,25 | 15,29 | 15,33 | 15,37 | 15,41 | 15,45 | 15,49 |
| 6 | 123 | 15,25 | 15,28 | 15,32 | 15,36 | 15,40 | 15,44 | 15,48 | 15,52 | 15,56 | 15,60 | 15,64 | 15,68 | 15,72 | 15,76 | 15,80 | 15,84 |
| 6 | 126 | 15,60 | 15,63 | 15,67 | | | | | | | | | | | | | |

| Relación de cavidad del techo o del suelo | Reflectancia en tanto por ciento del techo o del suelo | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 60 | | 70 | | 50 | | 30 | | 10 | | | | | | |
| | Reflectancia en tanto por ciento a la pared | | | | | | | | | | | | | | |
| | 70 | 50 | 30 | 70 | 50 | 30 | 70 | 50 | 30 | 50 | 30 | 10 | | | |
| 0 | 80 | 60 | 80 | 70 | 70 | 70 | 50 | 50 | 50 | 30 | 30 | 30 | 10 | 10 | 10 |
| 0,1 | 79 | 78 | 78 | 69 | 69 | 68 | 49 | 49 | 48 | 30 | 29 | 29 | 10 | 10 | 10 |
| 0,3 | 77 | 75 | 74 | 65 | 66 | 64 | 49 | 47 | 46 | 29 | 28 | 27 | 10 | 10 | 9 |
| 0,5 | 75 | 73 | 70 | 65 | 64 | 61 | 48 | 46 | 44 | 28 | 27 | 25 | 11 | 10 | 9 |
| 0,8 | 73 | 71 | 68 | 65 | 62 | 59 | 47 | 45 | 43 | 28 | 26 | 25 | 11 | 10 | 9 |
| 1,0 | 73 | 69 | 65 | 64 | 60 | 56 | 47 | 43 | 41 | 27 | 25 | 23 | 11 | 10 | 8 |
| 1,2 | 71 | 66 | 61 | 63 | 58 | 53 | 46 | 42 | 39 | 27 | 24 | 22 | 11 | 9 | 8 |
| 1,4 | 70 | 64 | 58 | 61 | 56 | 50 | 45 | 41 | 37 | 26 | 23 | 20 | 12 | 9 | 7 |
| 1,6 | 68 | 62 | 55 | 60 | 54 | 48 | 45 | 40 | 35 | 26 | 22 | 19 | 12 | 9 | 7 |
| 1,8 | 67 | 60 | 53 | 59 | 52 | 45 | 44 | 39 | 33 | 25 | 21 | 18 | 12 | 9 | 7 |
| 2,0 | 65 | 58 | 50 | 57 | 50 | 43 | 43 | 37 | 32 | 25 | 21 | 17 | 12 | 9 | 6 |
| 2,0 | 64 | 56 | 45 | 56 | 48 | 41 | 43 | 37 | 30 | 24 | 20 | 16 | 12 | 9 | 6 |
| 2,2 | 63 | 54 | 45 | 55 | 46 | 39 | 42 | 36 | 29 | 21 | 19 | 15 | 13 | 9 | 6 |
| 2,4 | 61 | 52 | 43 | 54 | 45 | 37 | 42 | 35 | 27 | 24 | 19 | 14 | 13 | 9 | 6 |
| 2,6 | 60 | 50 | 41 | 53 | 43 | 35 | 41 | 34 | 26 | 23 | 18 | 13 | 13 | 9 | 5 |
| 2,8 | 59 | 48 | 39 | 52 | 42 | 33 | 41 | 33 | 25 | 23 | 18 | 11 | 13 | 9 | 5 |
| 3,0 | 58 | 47 | 38 | 51 | 40 | 32 | 40 | 32 | 24 | 22 | 17 | 12 | 13 | 8 | 5 |
| 3,3 | 56 | 44 | 35 | 49 | 39 | 30 | 39 | 31 | 23 | 22 | 16 | 11 | 13 | 8 | 5 |
| 3,6 | 54 | 42 | 33 | 48 | 37 | 28 | 39 | 30 | 21 | 21 | 15 | 10 | 13 | 8 | 5 |
| 3,9 | 53 | 40 | 30 | 47 | 36 | 26 | 38 | 29 | 20 | 21 | 15 | 10 | 13 | 8 | 4 |
| 4,2 | 51 | 39 | 29 | 46 | 34 | 25 | 37 | 28 | 19 | 20 | 14 | 9 | 13 | 8 | 4 |
| 4,5 | 50 | 37 | 27 | 45 | 33 | 24 | 37 | 27 | 19 | 20 | 14 | 8 | 14 | 8 | 4 |
| 4,8 | 49 | 36 | 25 | 44 | 32 | 23 | 36 | 26 | 18 | 19 | 13 | 8 | 14 | 8 | 4 |
| 5,0 | 48 | 35 | 23 | 43 | 32 | 22 | 36 | 26 | 17 | 19 | 13 | 7 | 14 | 8 | 4 |

TABLA IV. Reflectancia eficaz en tanto por ciento de la cavidad de techo o de suelo para varias combinaciones de reflectancias.

y techo. De la misma forma, la reflectancia efectiva de la cavidad del piso, p_{fc} , es una combinación de las reflectancias reales de la pared y el piso. La tabla IV proporciona dichas reflectancias efectivas.

Cuando la luminaria esté empotrada o adosada, o si el -- plano de trabajo es el piso, la relación de la cavidad de techo o la relación de la cavidad de piso serán 0, y entonces, la reflectancia real del techo o del piso será también la reflectancia efectiva.

3o. Obtener el coeficiente de utilización.

Para la obtención del coeficiente de utilización, necesitamos los valores de las reflectancias efectivas de piso y de techo, de la reflectancia de pared así como la relación de la cavidad de cuarto. Utilizando esos valores podemos encontrar el coeficiente de utilización para la luminaria que se considere, buscando dicho valor en las tablas suministradas por el fabricante.

Es necesario hacer la aclaración de que las tablas de -- coeficientes de utilización son lineales, y por lo tanto, pueden hacerse interpolaciones lineales para las relaciones de cavidad exactas o para las combinaciones de reflectancia.

4o. Calcular el número de unidades y su distribución.

Para realizar el cálculo del número de luminarias, se emplea la fórmula básica empleada en el método del lúmen promedio.

$$N = \frac{(E)(A)}{(F)(F_m)(FD)(CU)}$$

b. El luminario elegido es un luminario fluorescente marca Holophane mod. Realite II serie 6,800, el cual funciona con dos lámparas fluorescentes de 40 vatios y tiene una emisión de 6,200 lúmenes iniciales. Se adjunta la hoja de datos proporcionada por el fabricante.

c. Calculamos a continuación, las relaciones de cavidad correspondientes.

$$CCR = \frac{5 h_{CC}(a + L)}{(a)(L)} = 0$$

$$RCR = \frac{5 h_{RC}(a + L)}{(a)(L)} = \frac{(5)(2)(7.2 + 4.8)}{(7.2)(4.8)} = 3.47$$

$$FCR = \frac{5 h_{FC}(a + L)}{(a)(L)} = \frac{(5)(0.7)(7.2 + 4.8)}{(7.2)(4.8)} = 1.21$$

d. Con las relaciones de cavidad y las alturas, encontramos en la tabla IV que las reflectancias efectivas son:

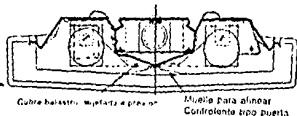
$$p_{cc} = 50 \quad (\text{techo } 50\%, \text{ pared } 50\% \text{ y } 0 \text{ de } CCR)$$

$$p_{fc} = 26 \quad (\text{piso } 30\%, \text{ pared } 50\% \text{ y } 1.21 \text{ de } FCR)$$

e. Para determinar el CU, buscamos en la tabla del luminario para p_{cc} igual a 50% y reflectancia de pared 50%, entre 3 y 4. Por interpolación obtenemos el valor correspondiente a 3.47 de RCR.



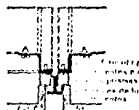
CONTROLANTE PRISMALUMI



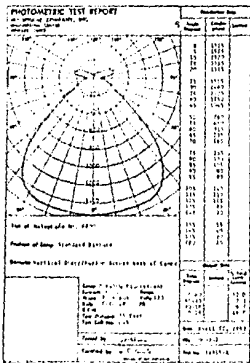
Cubre balastro, muelle y plano

Muelle para alinear
Controlante tipo puerta

CORTE LONGITUDINAL EN UN EXTREMO



CORTE DE JUNTA DE DOS EXTREMOS AL FORMAR TIRAS CONTINUAS



DATOS PROMEDIOS DE BRILLANTEZ

2 lámparas Fluorescentes F-40 CW
Cada una con 3100 lúmenes
Brillantes en Footlamberts

Angulo Transv. Plano A lo largo
Vertical al eje a 45° del eje

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 55° | 510 | 545 | 530 |
| 60° | 390 | 410 | 425 |
| 65° | 330 | 350 | 360 |
| 70° | 295 | 320 | 300 |
| 75° | 285 | 315 | 285 |
| 80° | 295 | 315 | 310 |
| 85° | 305 | 335 | 275 |



FOOTCANDES INICIALES PRODUCIDOS POR CADA WATT POR PIE CUADRADO.

Para una rápida estimación de footcandles sobre el plano de trabajo, usar esta tabla. Para mayor aproximación utilizar tabla de coeficientes y curvas fotométricas.

COEFICIENTES DE UTILIZACION

Método de cavidad zonal

2 lámparas fluorescentes F40CW

PISO 20%

| PARED | 80% | | 70% | | 50% | | 30% | | 10% | | 0% | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 18° | 30° | 18° | 30° | 18° | 30° | 18° | 30° | 18° | 30° | | | | | | | |
| 1 | 71 | 67 | 83 | 61 | 63 | 44 | 42 | 63 | 41 | 59 | 59 | 58 | 54 | 56 | 55 | 54 | 57 |
| 2 | 58 | 61 | 58 | 55 | 61 | 57 | 56 | 54 | 51 | 53 | 51 | 49 | 50 | 49 | 47 | 45 | 45 |
| 3 | 61 | 55 | 51 | 47 | 59 | 54 | 50 | 45 | 51 | 48 | 45 | 48 | 46 | 43 | 48 | 44 | 42 |
| 4 | 57 | 50 | 45 | 41 | 55 | 47 | 44 | 40 | 45 | 42 | 39 | 41 | 41 | 38 | 42 | 40 | 37 |
| 5 | 52 | 45 | 37 | 35 | 52 | 41 | 37 | 35 | 42 | 37 | 34 | 40 | 36 | 33 | 38 | 35 | 32 |
| 6 | 48 | 40 | 35 | 32 | 47 | 40 | 35 | 31 | 36 | 31 | 30 | 36 | 32 | 31 | 35 | 31 | 29 |
| 7 | 45 | 37 | 31 | 28 | 43 | 35 | 31 | 27 | 34 | 30 | 27 | 33 | 29 | 26 | 32 | 28 | 25 |
| 8 | 41 | 33 | 28 | 24 | 40 | 32 | 27 | 24 | 31 | 26 | 23 | 30 | 26 | 21 | 28 | 23 | 21 |
| 9 | 38 | 30 | 25 | 21 | 37 | 29 | 24 | 21 | 28 | 23 | 20 | 27 | 23 | 20 | 25 | 22 | 19 |
| 10 | 35 | 27 | 22 | 19 | 35 | 26 | 22 | 18 | 25 | 21 | 18 | 24 | 20 | 18 | 23 | 20 | 17 |

GRAFICA DE ILUMINACION UNIFORME CON HOLOPLANE REALITE II EN TIRAS CONTINUAS.



REALITE II nos permite aumentar los espaciamientos convencionales entre luminarios, sin sacrificar la uniformidad de la iluminación. La gráfica indica la pequeña desviación que sufre la curva para relaciones de espaciamiento mayores; o ilustra que la REALITE II en tiras continuas, puede ser espaciada satisfactoriamente hasta 1.6 veces su altura de montaje.

E SPECIFICACIONES

| No. de Cat. | Lámpara | No. de lámp. | Balastro | Largo | Ancho | Altura |
|-------------|-----------|--------------|-------------|-------|-------|--------|
| 8800-240 | F40T12/ER | 2 | Enc. Rápido | 122.2 | 28.1 | 7.3 |
| 8800-238 | F38T12/SL | 2 | SLIMLINE | 122.2 | 28.1 | 7.3 |
| 8800-274 | F96T12/SL | 2 | " | 244.4 | 28.1 | 7.3 |

El valor obtenido para el CU es de 0.485, pero como la -
 tabla del luminario es para reflectancias de piso del 20%-
 y la de nuestro problema es de 26%, tenemos que modificar-
 ese valor.

Para modificarlo, multiplicamos el CU obtenido para la -
 reflectancia de piso del 20%, por un factor de la siguien-
 te tabla y que corresponda a los valores que tenemos.

| Reflectancia efecti- va de la cavidad del techo en % | 80 | | | 70 | | | 60 | | | 50 | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Reflectancia de la pared en % | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 |
| Relación de sa- ciedad del local | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.08 | 1.08 | 1.07 | 1.07 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| 2 | 1.07 | 1.06 | 1.05 | 1.06 | 1.05 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| 3 | 1.09 | 1.04 | 1.03 | 1.09 | 1.04 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| 4 | 1.05 | 1.03 | 1.02 | 1.04 | 1.03 | 1.02 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| 5 | 1.04 | 1.03 | 1.02 | 1.03 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.00 |
| 6 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.00 |
| 7 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.00 |
| 8 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.00 |
| 9 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.00 |
| 10 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.00 |

El valor encontrado es de 1.03, así que multiplicamos el
 CU obtenido anteriormente con lo cual obtenemos el CU para
 una reflectancia del 30%.

$$\text{Para } p_{fc} = 20\% \quad \text{CU} = 0.485$$

$$\text{Para } p_{fc} = 30\% \quad \text{CU} = (0.485)(1.03) = 0.5$$

Interpolando nuevamente para obtener el CU para $p_{fc} =$ --
 26%, obtenemos un valor de 0.494.

f. De las tablas I y II, obtenemos que:

$$F_m = 0.85$$

$$FD = 0.91$$

h. A continuación, habiendo obtenido todos nuestros datos, calculamos el número necesario de luminarias.

$$N = \frac{(500)(34.56)}{(6,200)(0.494)(0.85)(0.91)}$$

$$N = 7.29 \text{ luminarias}$$

El número de luminarias a tomar será de 8, y el tipo de alumbrado general directo. El arreglo será de 4 x 2. Se deja al estudiante la realización del arreglo conforme a lo estipulado en la sección referente a iluminación general.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Una de las finalidades del presente trabajo fue recopilar en forma lo más completa posible, todo el material teórico que el estudiante del bachillerato técnico, área físico-matemáticas con orientación técnico electricista, necesita para los seis semestres que dure la carrera. Una meta muy ambiciosa que espero haber cubierto lo mejor posible.

La efectividad de este trabajo como material didáctico para esos tres años de duración de la carrera, no puede ser evaluada en este momento, mas sin embargo, se buscará que esta Guía sea empleada en algunas instituciones como material de consulta en forma inmediata.

De acuerdo a los planes de estudio de la Secretaría de Educación Pública, que fueron la base para la elaboración de esta tesis, el material se encuentra en forma alternativa, pudiéndose llevar dos o más capítulos a la vez de acuerdo al semestre que se curse, siendo los dos primeros fundamentales para la comprensión de los restantes.

Espero también, proporcionar al estudiante de escasos recursos económicos, un ejemplar único que le proporcione un considerable ahorro durante el tiempo que duren sus estudios, ya que no se persiguen fines lucrativos con el presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

ALASTRUE, A. A. Prontuario de electricidad práctica. 3a. edición. Marcombo. Barcelona, 1980.

CAMARENA, M. Pedro. Prontuario de electricidad. 5a. edición. C.E.C.S.A. México, 1981.

CAMARENA, M. Pedro. Manual práctico para instaladores y montadores electricistas. C.E.C.S.A. México, 1981.

CROFT, T., CARR, C. C., WATT, J. H. Manual del montador electricista. 3a. edición. Editorial Reverté. Barcelona, 1974.

EDMINISTER, Joseph A. Circuitos eléctricos. McGraw-Hill. México, 1984.

ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. Curso de transformadores y motores trifásicos de inducción. 3a. edición. Limusa. México, 1984.

ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales. 2a. preedición corregida y aumentada. Limusa. México, 1984.

ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. Limusa. México, 1982.

FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, Charles Jr., KUSKO, Alexander. Teoría y análisis de las máquinas eléctricas. 2a. edición. Editorial Hispano Europea. Barcelona, 1980.

GABBERT, William L. Electrical Appliance Service Manual. - 4th printing. Rinehart & Company, Inc. New York, 1957.

GINGRICH, Harold W. Máquinas eléctricas, transformadores y controles. Editorial Prentice Hall Internacional. Colombia, 1979.

HILL, Philip G. Power Generation. Resources, Hazards, Technology, and Costs. 2nd printing. The MIT Press. Massachusetts, 1978.

HOLMAN, J. P. Métodos experimentales para ingenieros. Editorial McGraw-Hill. México, 1977.

KNOWLTON, Archer E. Manual Estándar del Ingeniero Electricista. Tomo I. Editorial Labor. Barcelona, 1956.

KERCHNER, Russell M., CORCORAN, George F. Circuitos de corriente alterna. 4a. edición. C.E.C.S.A. México, 1983.

LANGSDORF, Alexander S. Principios de las máquinas de corriente continua. 6a. edición. McGraw-Hill. México, 1977.

LANGSDORF, Alexander S. Teoría de las máquinas de corriente alterna. 2a. edición. McGraw-Hill. México, 1979.

MCKELVEY, John P., GROTCHE, Howard. Física para ciencias e ingeniería. Tomo II. Harla. México, 1981.

MORSE, Frederick T. Centrales eléctricas. 3a. edición. --- C.E.C.S.A. México, 1961.

MILEAF, Harry. Electricidad. Serie uno-siete. Limusa. México, 1983.

NAZAR, Syed A. Máquinas eléctricas y electromecánicas. Editorial McGraw-Hill. Madrid, 1982.

NEWNHAM, Robert W. Reparación de aparatos electrodomésticos. Centro Regional de Ayuda Técnica. Colombia, 1971.

POLO ENGINAS, Manuel. Energéticos y desarrollo tecnológico. Limusa. México, 1979.

POLO ENGINAS, Manuel. Turbomáquinas hidráulicas. Limusa. - México, 1976.

PANSINI, Anthony J. Transporte y distribución de la energía eléctrica. Tomos I y II. Editorial Glem. Buenos Aires, 1975.

ROSENBERG, Robert. Reparación de motores eléctricos. Tomos I y II. 7a. edición. Ediciones Gustavo Gili. México, 1980.

STEVENSON, William D. Análisis de sistemas eléctricos de potencia. 2a. edición. McGraw-Hill. México, 1979.

SPITTA, Albert F. Instalaciones eléctricas. Tomos I y II. - Editorial Dossat. Madrid, 1981.

SLURZBERG, Morris, OSTERHELD, William. Fundamentos de electricidad-electrónica. McGraw-Hill. México, 1983.

WEIGEL, M. G. Luminotecnia, sus principios y aplicaciones. 3a. edición. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1973.

ZOPPETI JUDEZ, Gaudencio. Redes eléctricas de alta y baja tensión. 6a. edición. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, - 1978.

MANUALES DE SERVICIO PHILIPS.

MANUAL DEL ALUMBRADO WESTINGHOUSE.

REVISTAS BROWN BOVERI.

CATALOGOS IEM.