
FACULTAD DE QUIMICA

**Operación de la Red Eléctrica en la Industria
Química**

418

T E S I S

Que para obtener el título de :

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

ALEJANDRO SENTIES SANTOS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS Resi
ABO 1976
FECHA
*PROC HT
s

~~397~~ 396



QUIMICA

A la Facultad de Química

A mis maestros

A mis amigos

I N D I C E

	<u>Página</u>
Introducción	1
Capítulo I. COMPONENTES DE LA RED ELECTRICA	3
Sistemas de planos ✓	3
Diagramas unifilares ✓	4
Símbolos	4
Acometidas ✓	7
Acometida aérea	7
Acometida subterránea	7
Equipos de medición	7
Amperímetros	29
Vóltmetros	29
Vatímetros o Wattmetros	29
Factorímetros	30
Medidor reactivo	30
Interruptores	30
Interruptores de baja tensión	30
Interruptores de alta tensión	34
Interruptores de aire comprimido	39
Interruptores para acoplamiento directo a los transformadores	43
Interruptores con tope para una instalación separada	43

	<u>Página</u>
Bus de alta tensión	45
Apartarrayos	45
Apartarrayos tipo autovalvular	45
Apartarrayos de resistencia variable	46
Subestación ✓	46
Sección de alto voltaje	47
Sección de bajo voltaje	48
Sección de transformación	48
Partes de un TRANSFORMADOR	49
Conexiones trifásicas de transformadores	50
Conexión estrella-estrella	51
Conexión delta-estrella	51
Conexión delta-delta	51
Conexión estrella-delta	51
Conexión delta abierta-delta abierta	51
Acoplamiento de transformadores en paralelo	53
Razones para la operación de transformadores en paralelo	53
Requisitos para la operación de transformadores en paralelo	53
Instalación de transformadores	54
Accesorios de los transformadores	54
Elementos constitutivos de una subestación	55
Tableros eléctricos	56
Tablero de baja tensión	56

	<u>Página</u>
Tablero de alta tensión	57
Valores comerciales de transformadores de corriente	58
Valores comerciales de transformadores de potencia	59
Capítulo II. OPERACION DE LA RED ELECTRICA	61
Introducción	61
Valor de la corriente de arranque de un motor	63
Valor de la corriente de régimen	64
Limitación de la corriente de arranque	65
Par de arranque de un motor	66
MOTORES Y ARRANCADORES	68
Motores de tipo Jaula de Ardilla de una velocidad	69
Arrancadores directos a la línea	73
Arrancadores por resistencia	74
Arrancadores de voltaje reducido	74
Motor de inducción de rotor devanado	75
Arrancadores para motores de corriente alterna	76
Arrancadores manuales de corriente alterna	77
Capítulo III. MEDIDAS GENERALES DE SEGURIDAD	81
Protección de sistemas de distribución eléctrica	81
Circuitos eléctricos	83
Circuitos de alumbrado y para contactos	89
Circuitos de derivaciones	94
Circuitos de tres hilos con cualquier factor de potencia	94

	<u>Página</u>
Circuitos para líneas de motores	94
Tableros	96
Cálculo de la corriente de motores	96
Líneas de alimentación para motores	104
Cálculos básicos sobre la caída de voltaje en conductores	104
Circuitos trifásicos balanceados de cuatro hilos	105
Cálculos de las caídas de tensión incluyendo la reactancia de los conductores ✓	105
Conductores en ductos ✓	106
CONEXIONES A TIERRA DE SISTEMAS ELECTRICOS	111
Conexión a tierra del sistema	111
Sistemas sin conexión a tierra	114
Localización de fallas	114
Sistemas con conexión a tierra	116
Métodos de conexión a tierra	118
Métodos de conexión a tierra sugeridos	120
En donde debe efectuarse la conexión a tierra	122
Conexión a tierra de equipos	124
Equipos que deben conectarse a tierra	125
Conexión a tierra para electricidad estática y rayos	125
Causas de la formación de cargas estáticas	126
Rayos	127
Protección con relevadores eléctricos	129
Descripción general de relevadores eléctricos	130

Protección de los alternadores	132
Protección de transformadores	133
Tipo de relevadores	135
Capítulo IV. CORTOCIRCUITO	137
Relación de cortos circuitos de generadores	138
Corriente de corto circuito total	138
Métodos de cálculo de corto circuito	141
Selección de las reactancias y las resistencias de las máquinas	143
Métodos de cálculo de corto circuito	145
Capítulo V. TIPOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION	151
Capítulo VI. OPERACION ECONOMICA DE LA RED ELECTRICA	159
Demanda ✓	161
Cargas por energía	163
Reajustes sobre el costo de combustible	164
Factores de potencia ✓	165
Tipo de cláusulas para el factor de potencia	167
Factor de carga	169
Como reducir el importe en las facturas	170
Cargas por demanda ✓	170
Capítulo VII. RED ELECTRICA DE UNA INDUSTRIA PROTOTIPO	173
CONCLUSIONES	181
Bibliografía	183

INTRODUCCION

Sin duda es hoy en día una creciente necesidad para el Inge -
niero Químico debido a la versatilidad de funciones que desempeña -
dentro de una planta industrial, el conocer más a fondo algunos tó -
picos de otras disciplinas, debido a esto surgió la necesidad de te -
ner un conocimiento más amplio de las instalaciones eléctricas de -
una red industrial.

En el desarrollo de este tema se tomó como patrón una red - -
eléctrica prototipo de una industria, describiéndose elementos cong -
titutivos, funcionamiento, operación, medidas de seguridad para el -
buen funcionamiento y duración de las instalaciones. Se mencionan -
también algunas medidas cuyo fin es reducir costos de consumo, esto
último fué hecho con el fin de dar una mayor objetividad al estudio.

I. COMPONENTES DE LA RED ELECTRICA

SISTEMAS DE PLANOS

Todas las distribuciones de energía eléctrica de importancia requieren para su operación el auxilio de un sistema de planos, por medio de los cuales sea posible conocer la localización de todos y cada uno de los elementos que la constituyen.

Debido a lo cual es de vital importancia que los planos estén actualizados, ya que una omisión o el retraso de alguna corrección podría ocasionar errores o accidentes a las personas que los consultan para efectuar movimientos en el sistema eléctrico. Se deberá consignar en los planos inmediatamente las variaciones a que fué sujeto el sistema en un momento dado, consignando el momento y lugar de cambio, así como la persona que lo realiza u ordene, esto es con el fin de que en todo momento sean una fiel representación del estado de conexiones en el terreno tanto en alta como en baja tensión.

Los planos deberán ser de un material que permita hacer correcciones tantas veces como sea necesario para mantenerlos actualizados; en caso de variaciones temporales en el sistema podrán ser empleados crayones de algún material blando que facilite el borrado o raspado de sus marcas si es necesario una normalización posterior.

Es conveniente contar con suficiente número de copias de planos que permitan vaciar en ellos, los datos de aquéllos que debido a su uso se encuentran en mal estado.

Todos los planos en que por su magnitud y características no sea conveniente efectuar correcciones que puedan deteriorarlos o cuyas variaciones solo sean temporales, se podrá contar con algún otro medio que facilite su comprensión, tales como el uso de alfileres, tachuelas y piezas imantadas de colores o marcadas de tal manera que permitan dar a cada una su interpretación específica.

Los planos deberán estar colocados en lugares visibles desde puntos adecuados, con el fin de que cualquiera de sus partes sean fácilmente accesibles por quienes desean consultarlos. Cuando por su magnitud no sea posible lo anterior se podrá efectuar un encadenado de los mismos que facilite su comprensión, esto se logra por medio de numeraciones o marcas en sus extremos que indiquen cuales de sus partes se complementan.

DIAGRAMAS UNIFILARES

Es la representación esquemática (por medio de símbolos) simplificada de las diferentes partes que constituyen una red eléctrica. Tiene como ventajas su fácil representación así como su objetiva visualización. (Ver Figs. 1 y 2).

SÍMBOLOS

Los planos y diagramas para su comprensión deberán contar con una variedad de símbolos, con los cuales se ilustre cada uno de los elementos que constituyen lo que en ellos se quiere representar, de tal forma que con facilidad sea determinada la situación exacta y -

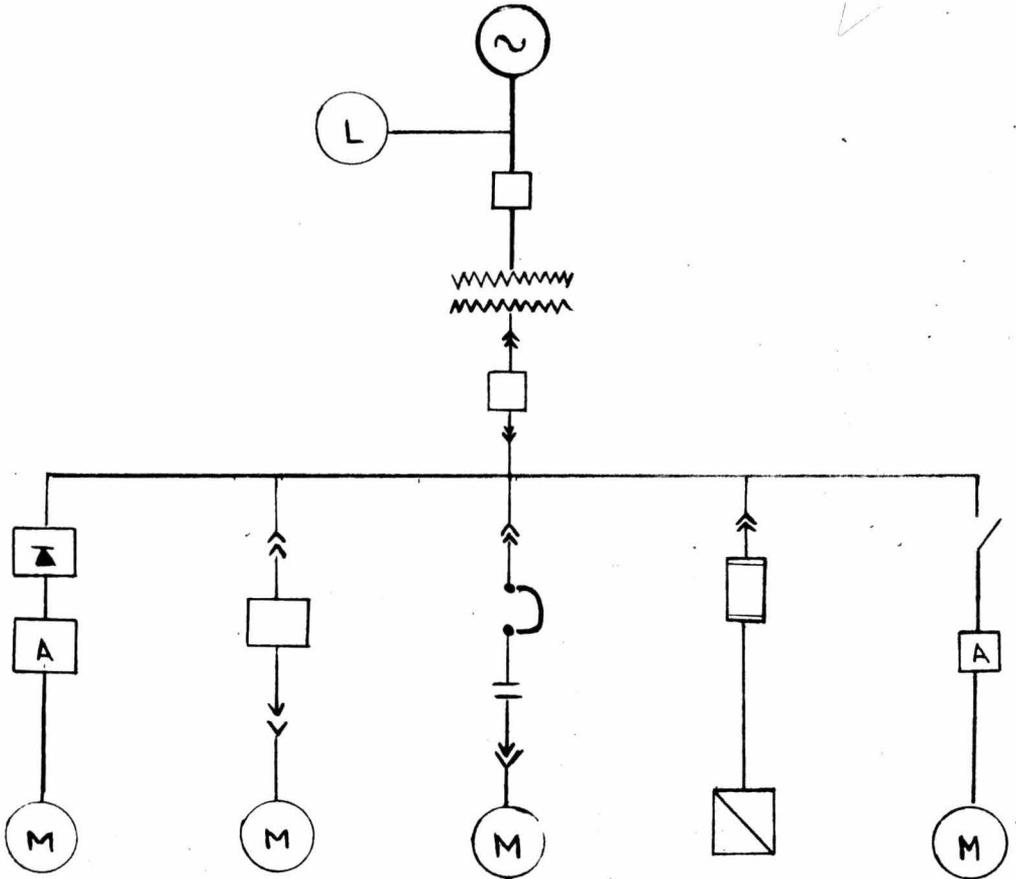


Fig. 1

Nota: El símbolo $\ll \gg$ representa equipo intercambiable

Diagrama elemental de una Subestación Industrial

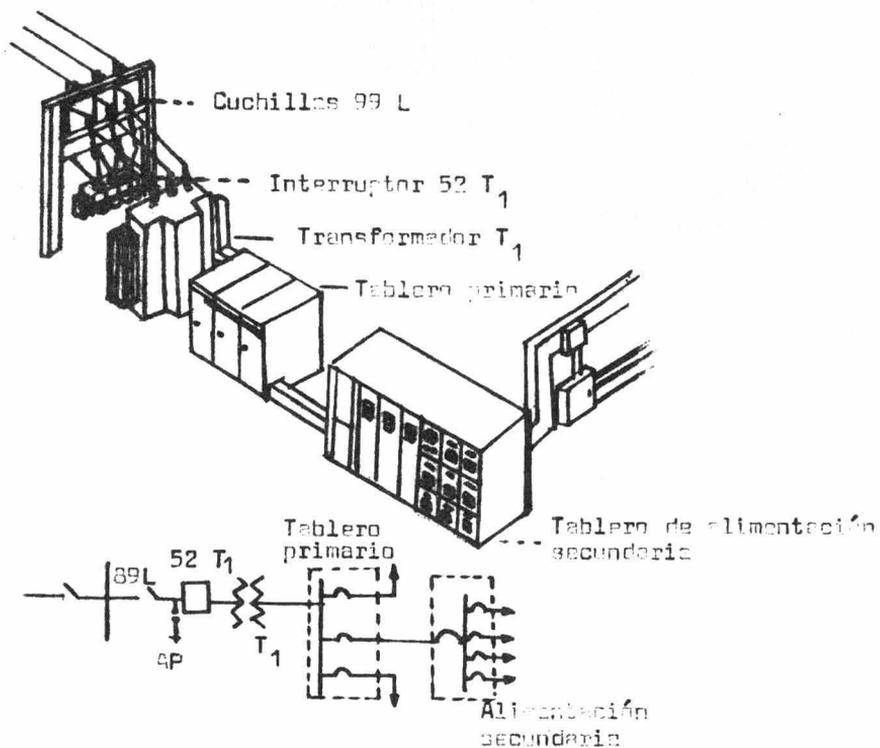


Fig. 2

el elemento específico que representa de cualquier parte del mismo.

Los símbolos son representados generalmente al margen de los planos, con el objeto de que cualquier persona pueda decifrarlos cuando le sea necesario.

A continuación se representan los símbolos más comunmente utilizados. (Fig. 3).

Se describirán a continuación los diferentes componentes que constituyen una red eléctrica de una industria prototipo.

a) ACOMETIDAS

Es la conexión de las redes generales de distribución de energía eléctrica a las instalaciones interiores de un servicio.

1) Acometida aérea

Es una terminal de un circuito aéreo que se conecta a la instalación de la industria en cuestión a través de un equipo de medición.

2) Acometida subterránea

Es una terminal de un circuito subterráneo que se conecta a la instalación de la industria a través de un equipo de medición.

Dentro de estos tipos de acometidas se puede tener un suministro de energía ya sea en baja o en alta tensión, teniendo cada una de ellas características propias.

b) EQUIPOS DE MEDICION

Puesto que es indispensable conocer las características del -

SIMBOLOS GENERALES PARA INSTALACIONES Y SUBESTACIONES

CENTRO	
ARBOTANTE	
CONTACTO EN MURO	
CONTACTO EN EL PISO	
CONTACTO TRIFASICO	
SALIDA ESPECIAL	
APAGADOR	
APAGADOR ESCALERA	
APAGADOR COLGANTE	
BOTON DE TIMBRE	

Fig. 3

BOTON DE TIMBRE COLGANTE



LLAMADOR PARA ENFERMOS



PILOTO



CONTACTO INTEMPERIE



CHAPA ELECTRICA



CONTACTO CONTROLADO
CON APAGADOR



ALARMA



INCENDIO



CUADRO INDICADOR



CAMPANA MUSICAL



INTERRUPTOR FLOTADOR



TABLERO GENERAL



TABLERO DE ALUMBRADO



TABLERO DE FUERZA

LLAMADOR PARA ENFERMOS
CON PILOTO

LAMPARA DE CORREDOR



VELADORA



CAMPANA



ZUMBADOR



TELEFONO LOCAL



TELEFONO



CAJA DE REGISTRO



TUBERIA POR EL MURO



TUBERIA POR EL PISO



TUBERIA DE TELEFONO



PARARRAYOS

**CIRCUITOS**

CONEXION



BORNES DE CONTACTO

TELEFONO PUBLICO



RADIO



INTERRUPTOR



CONMUTADOR GENERAL



CONMUTADOR AUTOMATICO



BOTONES CONTROL REMOTO



RELOJ MARCADOR



MEDIDOR CIA DE LUZ



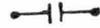
ANTENA DE RADIO



ANTENA DE TELEVISION



CONTACTO ABIERTO



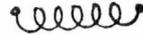
RECTIFICADOR



RESISTENCIA



REACTANCIA



TIERRA



CARGA



INTERRUPTOR



BATERIA



GENERADOR DE ALTERNA



GENERADOR DE DIRECTA



A P A R A T O S

INTERRUPTOR O CUCHILLA DE 1 POLO



INTERRUPTOR O CUCHILLA DE 2 POLOS



INTERRUPTOR O CUCHILLA DE 3 POLOS



ELEMENTO TERMICO Y FUSIBLE



CONTACTO MAGNETICO



CONTACTO MANUAL
O BOTON PULSADOR



CONTACTO NORMALMENTE CERRADO



INTERRUPTOR EN ACEITE



REOSTATO



RESISTENCIA VARIABLE



CAPACITOR VARIABLE



REACTANCIA VARIABLE



VOLTMETRO INDICADOR



VOLTMETRO REGISTRADOR



AMPERMETRO INDICADOR



WATTMETRO



AMPERMETRO REGISTRADOR



WATTHORIMETRO



AMPERES REACTIVOS



FACTORIMETRO



FRECUENCIMETRO



SINCRONOSCOPIO



RESISTENCIA EN DERIVACION
(shunt)



TRANSFORMADOR DE CORRIENTE



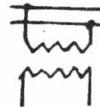
ELECTROIMAN



VALVULA ELECTRONICA
indica gas



TRANSFORMADOR DE POTENCIA



CONMUTADOR



ELEMENTO TERMICO



CAPACITOR



BOCINA



AUDIFONOS PAR

CIRCUITO 2 BOBINAS
1 CONDENSADOR

FUSIBLE



ANTENA



MICROFONO



DISTRIBUCION Y TRANSMISION

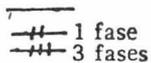
PLANTA



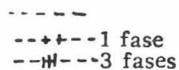
SUBESTACION



LINEA AEREA



LINEA SUBTERRANEA



POSTE DE MADERA



POSTE DE CONCRETO



TORRE



TIERRA



ALUMBRADO ORNAMENTAL



ALUMBRADO UTILITARIO



SOPORTE SOBRE TECHO

SOPORTE SOBRE TECHO
CON UNION A CASA

LINEA SOBRE TORRE

CRUZAMIENTO DE 3 LINEAS
SIN CONEXION

RETENIDA



SERVICIO



APARTARRAYO



RESIDENCIA

R

COMERCIO

C

REGISTRO



SEPARADORA



CAMARA DE TRANSFORMADORES

CAMARA DE TRANSFORMADORES
SOBRE DOS POSTES

SOPORTE PARA LINEA AEREA



TORRE



SOPORTE DE MADERA



SOPORTE DE CONCRETO



SOPORTE DE HIERRO



SOPORTE MAROMA



INDUSTRIA

I

TRANSFORMADOR



DUCTO



DEVANADO CONECTADO EN DELTA
O TRIANGULO C.A.



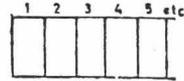
DEVANADO CONECTADO
EN ESTRELLA O "Y"



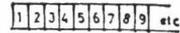
BOBINAS



ARMADURA (desplegada)



CONMUTADOR (desplegado)



MOTORES

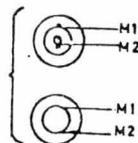
ROTOR JAULA DE ARDILLA
(sin conexiones)



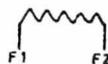
ROTOR DEVANADO Y CONMUTADOR



ROTOR CON ANILLOS ROSANTES



CAMPO EN GENERAL
en paralelo C.D.



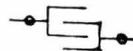
CAMPO EN SERIE C.D.



INTERRUPTOR CENTRIFUGO



CAPACITOR

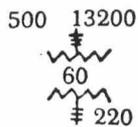


DEVANADO C.A.



MAQUINARIA

TRANSFORMADOR TRIFASICO
60 ~ 500 kva 13200/220 volts



AUTOTRANSFORMADOR



GENERADOR



GENERADOR C.C. SERIE



MOTOR



GENERADOR C.C. COMPUESTO



GENERADOR C.C. DERIVACION



ALTERNADOR TRIFASICO Δ
50 kva 220 volts



MOTOR DE ANILLOS ROSANTES 3 F.



MOTOR JAULA DE ARDILLA 1 F.



MAQUINAS ROTATIVAS ACOPLADAS



RECTIFICADOR MONOFASICO



SUBESTACIONES

CENTRAL GENERADORA INTERIOR



CENTRAL GENERADORA SIMBOLO GENERAL



CENTRAL GENERADORA TERMOELECTRICA



CENTRAL GENERADORA HIDROELECTRICA



CENTRAL GENERADORA HIDROELECTRICA
Ej: potencia 20000 kw



MIXTA (TERMO E HIDROELECTRICA)



MIXTA POTENCIAS:
Hid = 2000 Term = 500 kw



SUBESTACION
SIMBOLO GENERAL



CON TRANSFORMADORES



INTERIOR



SUBTERRANEA



CON TABLERO SIN MAQUINAS



SUBESTACION EJ POTENCIA 1000 KVA



SUBESTACION CON MAQUINAS ROTATIVAS



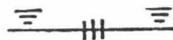
SUBESTACION CON ACUMULADORES

SUBESTACION CON RECTIFICADORES
ESTACIONARIOS

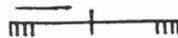
LINEA AEREA DE 3 CIRCUITOS C.A.



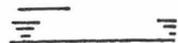
LINEA SUBTERRANEA DE 3 FASES C.A.



LINEA AEREA C.C.



LINEA SUBTERRANEA C.C.



TRANSFORMADORES

CONEXION DELTA "D"



CONEXION ESTRELLA "Y"



CONEXION CON NEUTRO



CONEXION ZIG-ZAG "Z"



CONEXION ZIG-ZAG CON NEUTRO



CONEXION SISTEMA BIFASICO TRIFASICO CON "T"
(Scott y otros)



CONEXION SISTEMA HEXAFASICO DOBLE "D"



CONEXION SISTEMA HEXAFASICO DOBLE "Y"



CONEXION SISTEMA HEXAFASICO EN POLIGONO



CONEXION SISTEMA HEXAFASICO "n" FASES



CONEXION SISTEMA HEXAFASICO "n" FASES EN "Y"



SISTEMA DE CONEXION EN "V"



NEUTRO CONECTADO A UN BORNE



flujo de energía eléctrica para poder efectuar las maniobras de ajuste, inspección, prueba, etc., en la red se hace necesaria la colocación de éstos equipos de medición.

Dichos instrumentos están clasificados en tres categorías de acuerdo al trabajo que desempeñan, esto es, indicando, registrando o integrando alguna magnitud en un tiempo predeterminado.

Los registradores son empleados tanto en operación manual como automática, sirviendo tal como se ha dicho antes como elemento - indicador para ajuste o reparación de algún órgano que no esté funcionando correctamente, esto es en subestaciones automáticas, mientras que en las manuales son colocados con el fin de comprobar eficiencia o bien, para registrar valores muy variables o de trascendencia para la operación futura.

La función de los integradores es principalmente determinar - consumos de energía, demandas y otras cantidades que estén relacionadas con el tiempo, son útiles también en fines estadísticos.

Los principales instrumentos de medición son:

a) Amperímetros

Utilizado para medir la intensidad de la corriente que recorre un circuito eléctrico.

b) Vóltmetros

Mide la diferencia de potencial de un circuito eléctrico.

c) Watímetros o Wáttmetros

- 1) Para determinar características de demanda.
- 2) Revelar algunas fallas.
- 3) Controlar los intercambios de energía entre sistemas en paralelo.

d) Factorímetros

Además de lo que indica su denominación, se usa en:

- 1) Para medir el consumo de los circuitos especiales.
- 2) Señalar el monto de energía para pagar el impuesto.
- 3) Calcular demandas con base en cualquier intervalo.
- 4) Determinar la eficiencia media de la subestación.

e) Medidor reactivo

Semejante al anterior, se utiliza en condensadores, reguladores síncronos y en estaciones de intercambio de energía entre dos sistemas.

INTERRUPTORES

Un interruptor es un dispositivo constituido por elementos conductores seccionadores que unen los extremos de un circuito de manera que puedan ser accionados por apertura o cierre.

La instalación de interruptores en un sistema eléctrico nos brinda protección, flexibilidad de operación, eficiencia en el control, estabilidad del sistema y continuidad en el servicio.

Existe una gran variedad de tipos de interruptores dependiendo de las diferentes especificaciones requeridas por el sistema en-

el cual van a operar.

Sin embargo, podemos clasificarlos en dos grandes grupos:

a) Baja Tensión

Monofásicos, bifásicos y trifásicos.

b) Alta Tensión

Monofásicos y trifásicos.

BAJA TENSION

Los interruptores para bajas tensiones y corrientes de poca intensidad presentan estructuras muy sencillas y generalmente cuentan con aislamientos de tipo común.

En la Fig. 4 se muestra un interruptor en el que los dos contactos fijos A y B del tipo de muelle están divididos en dos partes entre las cuales puede penetrar la cuchilla de unión L, articulada en B; los extremos del circuito exterior están indicados por a y b. Con el circuito cerrado, la cuchilla L queda retenida por un tope, para impedir que el muelle de desenganche m tensado durante la maniobra de cierre pueda extraer la cuchilla de su contacto A para devolverle a su posición de apertura. Liberando en cambio la cuchilla de su freno, manual o automáticamente, el muelle m se contrae violentamente y aleja la hoja L del contacto A.

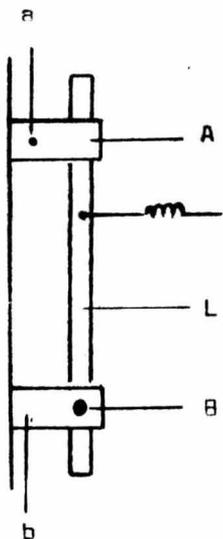
Con este dispositivo podemos resolver problemas relativos a interrupción de circuitos alimentados en baja tensión y corrientes bajas.

Otro tipo de interruptor para bajas tensiones es el interruptor de ballesta. En este tipo de interruptor la presión en los muelles es mayor que en el de cuchillas.

Se representa tal como lo muestra la Fig. 5.

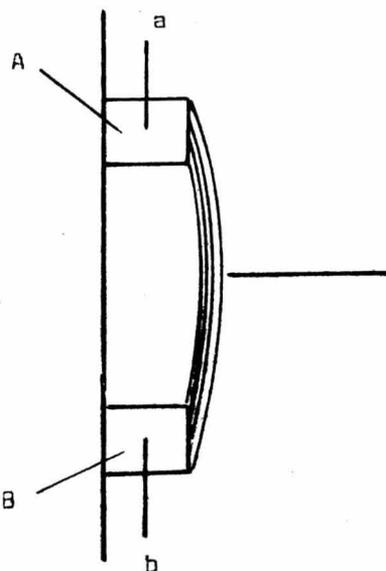
En este caso el órgano que constituye el contacto móvil puede construirse en forma apropiada para que permita el paso de cualquier intensidad. Los contactos fijos A y B, ligados a los extremos a y b del circuito exterior están formados por pequeños bloques metálicos de superficie lisa y bien limpia, sobre los cuales con el interruptor cerrado se apoya una superficie de ballesta formada por muchas chapas elásticas superpuestas, siendo éstas una aleación de cobre endurecida sobre las cuales se aplica una presión conveniente. Este es el elemento de potencia que debe poseer otros elementos especiales con el fin de agilizar su uso, ya que se pueden presentar algunos problemas como:

Los arcos que se inician o se forman al separar la ballesta de los contactos A y B y que si la corriente es importante y el circuito es inductivo pueden alimentarse y persistir por breve tiempo, esto determina la fusión de un poco de material y la formación de las llamadas perlas, que son gotitas de material fundido y posteriormente enfriado que se adhieren a la superficie de los contactos. Estos inconvenientes no resultan muy perjudiciales en los interruptores de cuchillas, ya que al penetrar éstas a los contactos fijos arrancan las perlas formadas eventualmente. En los interruptores -



Interruptor de Cuchillas

Fig. 4



Interruptor de Ballesta

Fig. 5

de ballesta este problema es más serio, ya que no se puede efectuar el repulido previo de las superficies de contacto, por lo que las perlas están sometidas a aplastamiento en el acto de cierre, con la consiguiente deformación de los contactos y notabilísima reducción del área por donde pasa la corriente. Por esta razón los interruptores de ballesta van acompañados de dispositivos antichispa o anti arco. (Fig. 6).

Como este tipo de interruptores (de ballesta) no presentan arreglos más complicados consideramos que con la descripción de los anteriores damos una visión general de su constitución y funciona miento.

ALTA TENSION

Al aumentar el voltaje en un circuito así como la intensidad de corriente se producen problemas debido a la formación de arcos eléctricos y chispas, por lo que este tipo de interruptores deberán tener dispositivos más eficientes en la destrucción del arco o la forma de evitarlo, que los simples contactos antiarco.

La primera idea para evitar la persistencia del arco fué la de sustituir el medio en que se iniciaba, es decir el aire, que presenta una rigidez dieléctrica relativamente pequeña por otros de rigidez elevada como el aceite, gases de alta rigidez dieléctrica o bien mezclas.

Expondremos el funcionamiento de un interruptor de alta ten sión con aislamiento en aceite, ya que los que tienen otro tipo de

aislamiento (gas por ejemplo) funcionan de forma similar.

Un interruptor de alta tensión sumergido en aceite puede representarse como lo indica la Fig. 7.

Consta esencialmente de un recipiente conteniendo aceite a través de cuya tapa penetran los aisladores pasadores por polo y en cuyo interior van accionados los dos conductores a y b a interrumpir, que a su vez terminan en los contactos fijos A. El órgano móvil está constituido por una barra aislante L, éste con diferentes modalidades termina en el mecanismo de mando situado en la cubierta, este dispositivo puede ser manual o automático.

En el momento de cierre debe levantarse la horquilla venciendo la acción del muelle m que queda tenso. Al término del recorrido de cierre, la barra es mantenida en posición por un dispositivo de enganche.

Para abrir el interruptor hay que intervenir sobre el dispositivo de enganche, ya sea manual o automáticamente. Cuando ocurre esto, la horquilla se abate con violencia por la acción del muelle m y se forman dos arcos de ruptura 1 y 2 que se desarrollan en el seno del aceite (este es de tipo mineral depurado, análogo al empleado en los transformadores). En el momento de formarse el arco, en los sitios de ruptura del circuito se originan fenómenos térmicos de notable intensidad, descomponiéndose el aceite y formándose vapores que dan lugar a verdaderas burbujas gaseosas en cuyo interior la presión es tanto más intensa cuando más violento es el

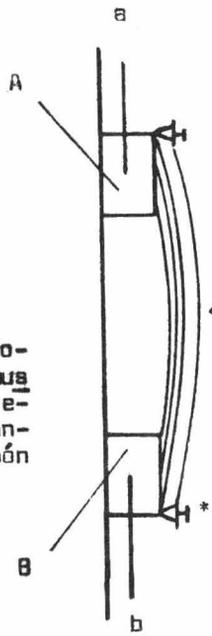
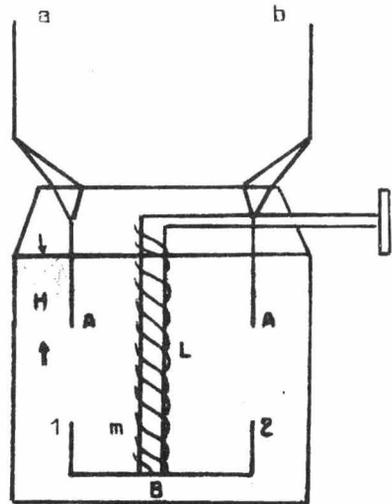
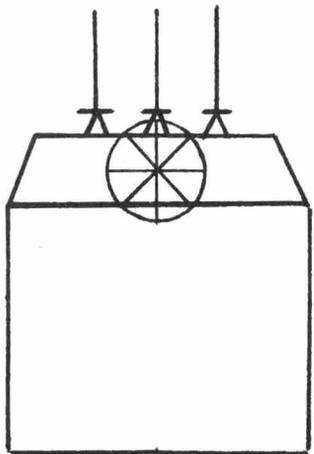


Fig. 6

Interruptor de Ballesta con contactos auxiliares antichispa

*Contacto auxiliar antichispa:
 Tiene una misión protectora, deben ser sustituibles fácilmente y ser de material antiarco como el carbón de retorta.

Fig. 7



Interruptor de Alta Tensión sumergido en aceite

fenómeno de ruptura con peligro de explosión y de derramamiento del aceite inflamado. Mientras las presiones son pequeñas las burbujas ascienden con lentitud y tienen todo el tiempo para enfriarse. Para facilitar este fenómeno, sobre los puntos de ruptura debe existir una altura H de aceite suficientemente grande. Se pueden presentar explosiones incluso por interrupciones modestas debido a que los productos gaseosos inflamables a base de hidrógeno llegaban a la superficie y se mezclaban todavía calientes con el aire presente, por no hallarse el interruptor completamente lleno.

También se debía otras veces a la potencia de interrupción - que determinaba la formación de grandes cantidades de gases. Este problema se resuelve en parte con la adopción de varias horquillas - que descienden en el acto de la apertura.

Un sistema semejante se puede observar en la Fig. 8.

Aquí se tienen 4 puntos de ruptura para cada polo aunque existen hasta 6. En la parte central de la cubierta se ha dispuesto un tercer aislador que cubre los contactos fijos auxiliares mientras - que las dos horquillas mecánicamente solidarias son conducidas por un elemento aislador cuya posición es accionada por la barra de maniobra.

Otro sistema para evitar estas explosiones es el de hacer saltar el arco dentro de un recinto adecuado y resistente de acero, - llamado cámara de explosión o de escape. (Fig. 9).

La cámara de explosión está formada por un fuerte cilindro de

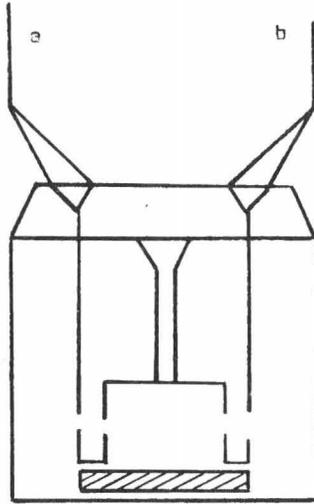


Fig. 8

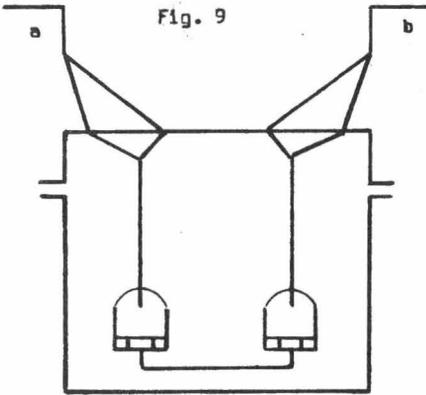
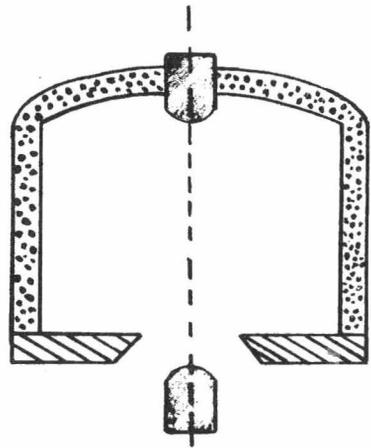


Fig. 9



acero de 25 - 30 cm. de diámetro y 20 - 25 mm. de espesor fijo al extremo inferior del aislador pasador. En ella el arco y la burbuja son retenidos (frenados) y poco a poco anulados.

De este sistema se derivan los interruptores de aceite reducidos; constituidos por la cámara de explosión con eliminación del recipiente exterior de aceite, por supuesto después de cada funcionamiento el aceite queda deteriorado por lo que requieren mayor frecuencia de cambio que los de pleno volumen, por producirse una mayor dilución de las sustancias en descomposición. Se tiene la ventaja de operar con cantidades reducidas de sustancias inflamables que en caso de accidente constituyen un combustible peligrosísimo.

Entre los interruptores de gas podemos mencionar los interruptores de aire, los que describiremos a continuación como prototipo de los interruptores de gas.

INTERRUPTORES DE AIRE COMPRIMIDO

En estos interruptores el arco es atacado y cortado por un chorro de aire. Normalmente con el interruptor cerrado, la cámara de extinción permanece llena de aire a presión elevada de modo que aumenta su rigidez dieléctrica, pues ésta aumentó rápidamente al aumentar la presión a valores superiores a la presión atmosférica. Además en el momento de la interrupción cuando subsiste el arco y antes de que el contacto móvil termine su recorrido, el aire a presión circula libremente por la cámara desionizada refrigerando el ambiente; podemos esquematizar uno de éstos tal como se muestra en la Fig. 10.

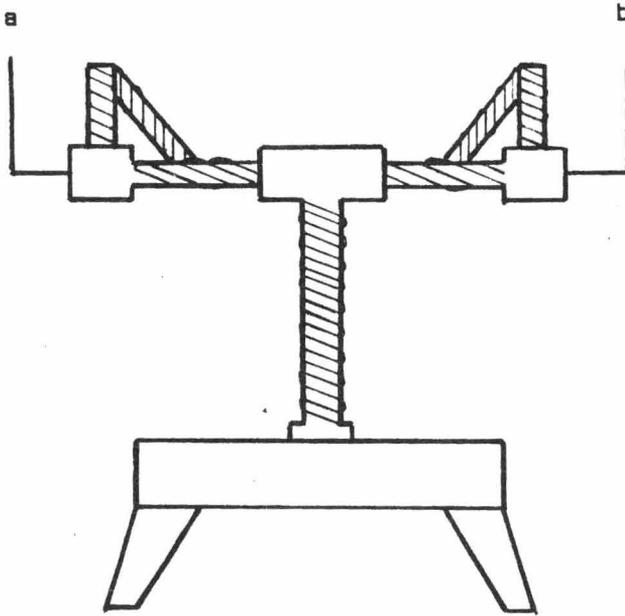
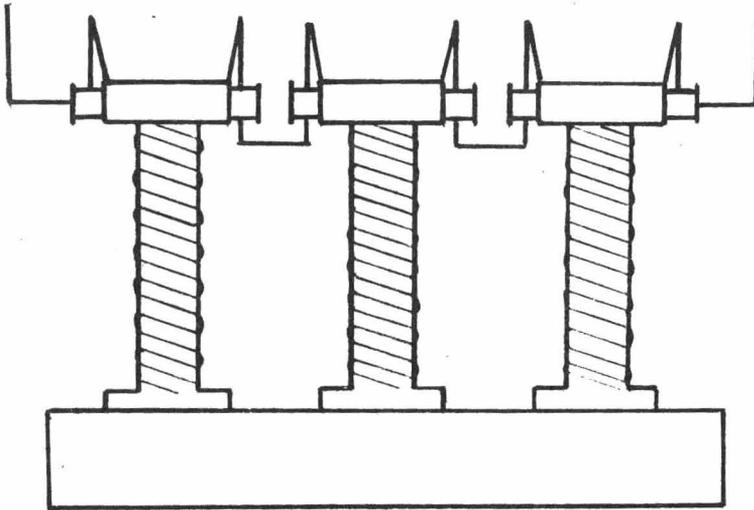


Fig. 11



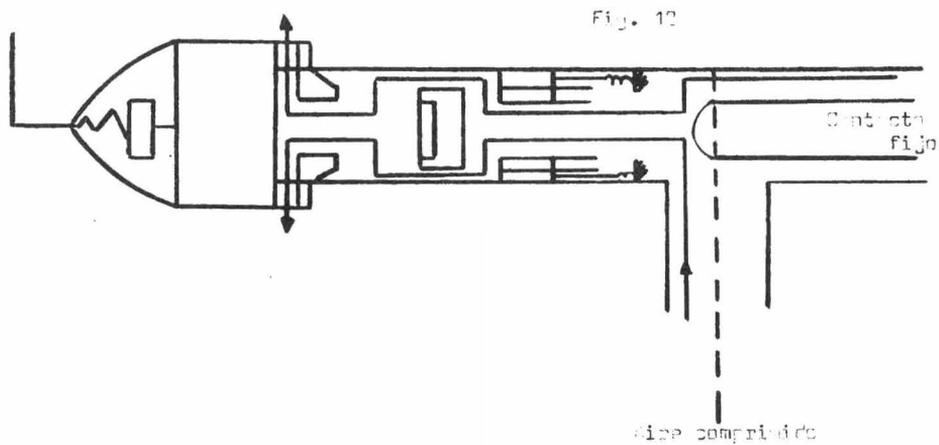
Si tenemos un potencial sumamente elevado se asocian varios elementos en T como se muestra en la Fig. 11 que constituye un sistema para 6 interruptores en serie.

En las super estructuras en forma de M suelen alojarse normalmente resistencias con objeto de mejorar el fenómeno de ruptura del arco y capacidades a las que se confía el papel de hacer iguales o al menos poco diferentes, las diferencias de potencial que se localizan entre los electrodos de cada cámara de extinción; como se muestra en la Fig. 12.

Otro interruptor de gas interesante es el de atmósfera gaseosa de hexafluoruro de azufre SF_6 .

En ambiente normal este gas pesa 5 ó 6 veces más que el aire y presente una rigidez dieléctrica 3 ó 4 veces mayor, a presiones de 2 atm., se eleva a 6 ó 7 veces más y alcanza incluso la de los aceites minerales. Es un gas muy interesante ya que es electronegativo por lo que si se encuentra en ambientes donde existen partículas negativas (electrones) se las apropia dando origen a los iones negativos, lo que es muy interesante en presencia de los fenómenos de interrupción, pues respecto a los electrones estos iones resultan enormemente más pesados y por tanto difícilmente más acelerables.

Estos interruptores de acuerdo a una estructura simple pueden imaginarse formados por una o varias cámaras colocadas en el interior de un dispositivo que contiene gas, según esquemas análogos a los de Aire Comprimido.



Sección de una cámara de extinción de un interruptor de aire comprimido

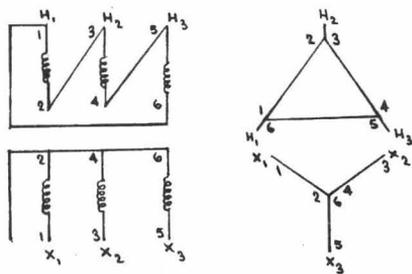
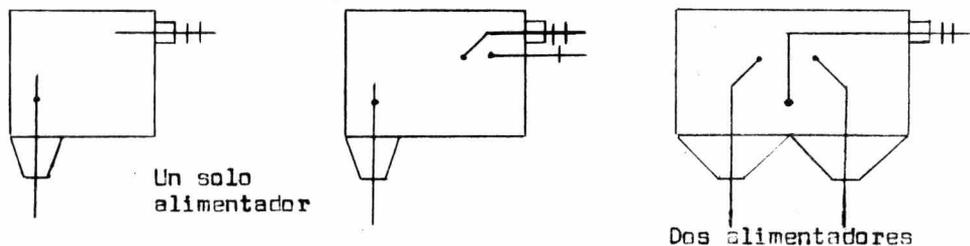


Fig. 13

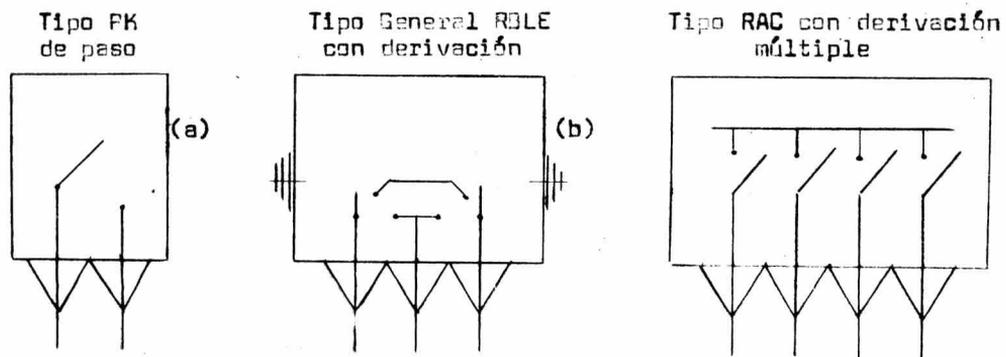
En este caso las condiciones son mejores por la elevada rigidez dieléctrica, que permite reducir la distancia de seguridad. Además, la subsistencia del arco se hace más difícil debido a la electronegatividad antes mencionada, que opera en favor de la des-ionización y determina la disminución del gradiente de potencial, en razón de la disminución de movilidad por parte de las partículas electrizadas.

Una vez explicado el funcionamiento y características de los principales interruptores podemos esquematizar algunos y especificar qué función desempeñan.

INTERRUPTORES PARA ACOMPLAMIENTO DIRECTO A LOS TRANSFORMADORES

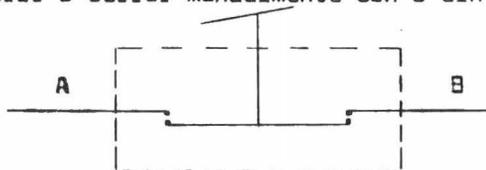


INTERRUPTORES CON TOPE PARA UNA INSTALACION SEPARADA



- a. Es seccional sumergido en aceite, un tiro. Conexiones A con B.

Permite abrir o cerrar manualmente con o sin carga.



- b. Equivalente a 2 interruptores acoplados de doble tiro, 3 polos, sumergible en aceite. Conexiones:

A con B

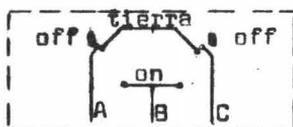
A con C

C con B

A con B y con C

A, B y C desconectados.

Permite manualmente abrir o cerrar con o sin carga el circuito.



- c. De 4 vías en aceite con 4 juegos de palancas, tres con 3 posi-
ciones (conectado, desconectado y conectado), y una con 2 posi-
ciones (conectado y desconectado). Conexiones:
1. 00 cerrado a 02 y 01 cerrado a 00 abierto 03
 2. 03 cerrado a 01 y 01 cerrado a 00 cerrado a 02 y 02 abierto.
 3. 00 cerrado a 02 y 03 cerrado a 01
 4. 03 cerrado con 02 y 01 cerrado a 00

Permite cerrar o abrir sin carga en circuito trifásico.

BUS DE ALTA TENSION

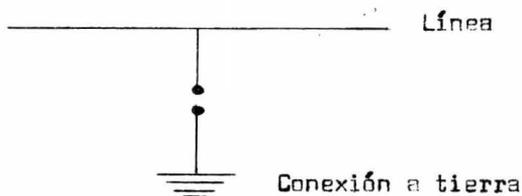
Son un complejo de conductores separados, rígidos de gran sección, destinados a conducir corrientes de intensidades muy grandes, de los cuales derivan generalmente todos los servicios de una central generadora de energía o bien de una subestación de transformación.

APARTARRAYOS

Es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico.

Se encuentra conectado en el sistema eléctrico permanentemente, opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra.

Su principio general de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos explosores, cuya separación está determinada de antemano de acuerdo con la tensión que va a operar.



Los apartarrayos más empleados son:

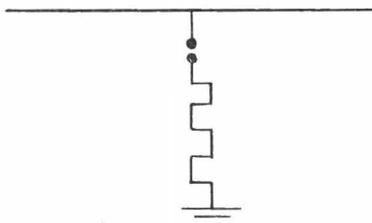
a) Apartarrayos tipo autovalvular

Consiste de varias chapas de explosores conectados en serie por

medio de resistencias variables cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Es empleado en los sistemas que operan a grandes tensiones, ya que representan una gran seguridad de operación.

b) Apartarrayos de resistencia variable

Su principio de operación se basa en dos explosores y se conecta en serie a una resistencia variable. Es empleado en tensiones medianas y tiene mucha aceptación en sistemas de distribución.



Apartarrayos de
resistencia
variable

La función del apartarrayos no es eliminar las ondas de sobretensión presentadas durante las descargas eléctricas, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales para las máquinas del sistema.

La tensión a que operan los apartarrayos se conoce técnicamente como tensión de cebado del apartarrayos.

SUBESTACION

Los grandes cambios que se han hecho en los usos industriales modernos de la energía eléctrica hacen de la subestación una verdadera necesidad.

La subestación es la parte dentro de la red eléctrica de una planta desde la cual se inicia la distribución de energía, podría - mos decir que es el corazón o parte medular del sistema, ya que de su funcionamiento depende la eficiente operación de la planta.

Las subestaciones consisten básicamente de tres secciones:

- a) Sección de alto voltaje.
- b) Sección de transformación.
- c) Sección de bajo voltaje.

Estas tres secciones están completamente coordinadas eléctrica y mecánicamente. Las tres están alojadas en envolventes adecuadas provistas de dispositivos para la ventilación, esto permite el movimiento de aire en forma libre para enfriamiento y también para la expansión de gases en caso de algún corto circuito.

SECCION DE ALTO VOLTAJE

Generalmente la subestación está alimentada por medio de tres conductores individuales que podrían estar alojados en un ducto, co nectado éste a la mufa de alto voltaje.

Esta sección consiste en un interruptor (que podría ser de - aire) al que se conectan las líneas de entrada que vienen de la mufa de alta tensión, una mirilla de cristal para inspección ó malla de alambre para protección física, fusibles interconectados con el mecanismo de operación del interruptor. En este caso la sección - también incluye un arreglo para los transformadores de los instru -

mentos de medición de alto voltaje, provistos por cuanta de la compañía que suministra la energía.

SECCION DE BAJO VOLTAJE

Esta sección está constituida por corta circuitos de bajo voltaje, barras conductoras del secundario alimentadas con energía del transformador y corta circuitos que toman corriente de las barras conductoras, las cuales a su vez están conectadas a los ductos alimentadores.

SECCION DE TRANSFORMACION

Se define el transformador como una máquina eléctrica estática que funciona con corriente alterna bajo el principio de inducción electromagnética y está constituido fundamentalmente por un circuito eléctrico y por un circuito magnético de acoplamiento, de tal forma que los embobinados que constituyen el circuito eléctrico se unen magnéticamente con el flujo que los enlaza propiciando la transformación.

Por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica de un circuito eléctrico a otro separado de él. La función esencial del transformador es la de variar las características de la energía eléctrica, en el sentido de modificar el valor de la tensión, ya sea aumentándolo o disminuyéndolo e inversamente la intensidad de corriente, manteniendo sin variar el valor de la potencia que salvo pequeñas pérdidas se transfiere íntegra del circuito primario (inductor) al circuito o circuitos secundarios (inducidos).

Es importante hacer notar que el transformador puede ser in -
tercalado en un circuito, incluso sin necesidad de modificar las ca
racterísticas de la energía, sino con el único fin de precaución y -
protección, separando metálicamente la primera parte de un circuito
de la final cuando existe la posibilidad accidental de ponerse en -
contacto con elementos sometidos a una elevada diferencia de poten -
cial.

Clasificación de subestaciones:

Por su construcción:

- a) Tipo intemperie
- b) Tipo interior
- c) Tipo blindado *

PARTES DE UN TRANSFORMADOR

- a) Circuito primario o inductor:

Es el que recibe la energía necesaria de una red primaria.

- b) Circuito secundario o inducido:

Es el que alimenta la red secundaria a una tensión de consumo.

- c) Circuito magnético:

Confeccionado a base de chapas de acero al silicio, aisladas en
tre sí mediante delgadas capas de papel especial o barnices die
léctricos. El núcleo forma un circuito magnético cerrado en cu
yo interior circula un flujo de inducción, cuyo valor se modifi
ca con el tiempo, según las variaciones que experimenta la co -
rriente alterna inductora en el primario.

Dentro del tipo de transformadores los más aplicados en los sistemas de distribución industriales son los TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS, sobretodo en bajas capacidades, ya que para alta tensión los monofásicos presentan una mayor flexibilidad.

CONEXIONES TRIFÁSICAS DE TRANSFORMADORES

Las conexiones trifásicas principales en transformadores son:

- 1) Primario y secundario en estrella.
- 2) Primario en delta y secundario en estrella.
- 3) Primario y secundario en delta.
- 4) Primario en estrella y secundario en delta.

También es utilizada una conexión llamada zigzag, es similar en cierto modo a la conexión del secundario en delta y es empleado cuando son previstas ciertas condiciones, de funcionamiento, por ejemplo, con cargas desequilibradas.

Los transformadores monofásicos se conectan en bancos trifásicos principalmente en dos tipos de circuitos:

- a) En circuitos de muy alto voltaje.
- b) En circuitos en que se requiera continuidad en el servicio. Normalmente se dispone de cuatro transformadores monofásicos, tres en operación y uno de reserva.

Las conexiones se hacen en transformadores monofásicos para formar bancos trifásicos, son en general las mismas que se llevan a cabo en los transformadores trifásicos.

CONEXION ESTRELLA - ESTRELLA

Esta conexión se emplea en tensiones muy elevadas, ya que disminuye la cantidad de aislamiento.

CONEXION DELTA - ESTRELLA

Esta conexión se emplea en aquellos sistemas de transmisión en que es necesario elevar voltajes de generación. En sistemas de distribución es conveniente su uso debido a que se pueden tener 2 voltajes diferentes (entre fase y neutro). (Fig. 13).

CONEXION DELTA - DELTA

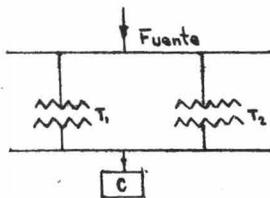
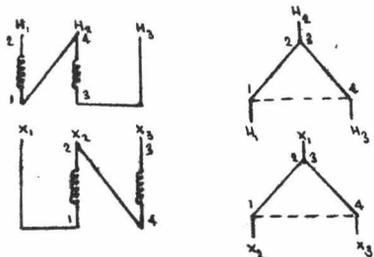
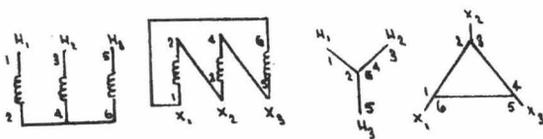
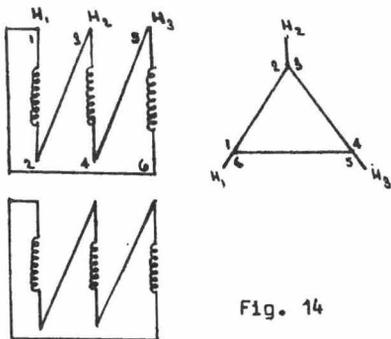
La conexión delta - delta en transformadores trifásicos se emplea normalmente en lugares donde existen tensiones relativamente bajas; en sistemas de distribución se utiliza para alimentar cargas trifásicas a 3 hilos. (Fig. 14).

CONEXION ESTRELLA - DELTA

Se utiliza esta conexión en los sistemas de transmisión de las subestaciones receptoras, cuya función es reducir voltajes. En sistemas de distribución es poco usual; se emplea en algunas ocasiones para distribución rural a 20 kv. (Fig. 15).

CONEXION DELTA ABIERTA - DELTA ABIERTA

Esta puede considerarse como una conexión de emergencia en transformadores trifásicos, ya que si un transformador se quema o sufre una avería en cualquiera de sus fases, se puede seguir alimen



tando carga trifásica operando el transformador a dos fases, solo - que su capacidad disminuye a un 58.8% aproximadamente.

Los transformadores trifásicos V-V se emplean en sistemas de baja capacidad y usualmente operan como autotransformadores. (Fig. 16).

ACOPLAMIENTO DE TRANSFORMADORES EN PARALELO

En las subestaciones distribuidoras el acoplamiento se hace - siempre conectando en paralelo los circuitos primarios a una misma fuente y los secundarios a una misma carga. (Fig. 17).

RAZONES PARA LA OPERACION DE TRANSFORMADORES EN PARALELO

1. Se conectan transformadores en paralelo cuando las capacidades instaladas son muy elevadas y se requeriría un transformador de masiado grande para su alimentación.
2. Cuando se presenta un aumento de carga en un servicio y es necesario aumentar la capacidad, en lugar de comprarse un transformador mayor, se puede instalar en paralelo con el ya existente uno de capacidad igual a la nueva demanda; resultando esto económicamente más conveniente.
3. Para dar flexibilidad y hacer económica la operación de un sistema.

REQUISITOS PARA LA OPERACION DE TRANSFORMADORES EN PARALELO

1. Igual relación de transformación, voltajes iguales en el lado primario y secundario.

2. Desplazamiento angular igual a cero.
3. Variación de las impedancias con respecto a las capacidades de los transformadores, en forma inversa.
4. Las relaciones de resistencias y reactancias deben ser equivalentes. Iguales frecuencias e iguales secuencias de fase.

INSTALACION DE TRANSFORMADORES

Según la necesidad y el caso pueden instalarse en interiores o al aire libre.

ACCESORIOS DE LOS TRANSFORMADORES

a) Conservador de aceite.

Situado sobre el transformador y en el cual puede dilatarse libremente el aceite cuando se calienta, su depósito comunica con el exterior a través de un tubo a cuyo extremo va fijado una caja-filtro.

b) Caja filtro.

Contiene gel de sílice, al cual cede el aire, la humedad que contiene y que si está en contacto con el aceite lo perjudicaría empeorando notablemente sus cualidades dieléctricas.

c) Aparatos termométricos.

Instalados en el momento de su construcción, en los lugares más indicados. Son generalmente terminados en pares termoeléctricos.

d) Bastidor metálico de sostén.

Es el apoyo de la carcasa del transformador.

e) Válvula de vaciado.

Se utiliza en caso de peligro de incendio para facilitar la salida del aceite inflamable.

f) Relé - Buchholz.

Se utiliza para proteger el transformador contra eventuales averías internas. (Opcional).

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA SUBESTACION

La clasificación se hace de acuerdo a la importancia de cada uno de los elementos, dividiéndose en principales y secundarios.

ELEMENTOS PRINCIPALES

1. Interruptor general.
2. Bus de alta tensión.
3. Bus de baja tensión.
4. Transformador.
5. Interruptor de potencia.
6. Restaurador.
7. Cuchillas fusible.
8. Cuchillas desconectadoras y cuchillas de prueba.
9. Apartarrayos.
10. Tableros duplex de control.
11. Condensadores.
12. Transformadores de instrumento.

ELEMENTOS SECUNDARIOS

1. Cables de potencia.

2. Cables de control.
3. Alumbrado.
4. Estructura.
5. Herrajes.
6. Equipo contra incendio.
7. Equipo de filtrado de aceite.
8. Sistema de tierra.
9. Carrier.
10. Intercomunicación.
11. Trincheras, ductos, conducto y drenajes.
12. Cercas.

TABLEROS ELECTRICOS

El tablero de distribución es aquel que alimenta, protege, interrumpe, mide y secciona circuitos eléctricos.

Los tableros pueden ser de dos tipos:

a) Tablero de baja tensión

Es aquel que trabaja a una tensión no mayor de 1000 volts de corriente alterna o a no más de 1500 volts de corriente continua.

Las tensiones nominales de corriente alterna son: 120, 240, 480, 550 volts.

Las tensiones para corriente continua son: 125, 250, 550 volts.

Las corrientes nominales tanto para corriente alterna como para

continúa son:

600 amp.	3000 amp.
1200 amp.	4000 amp.
2000 amp.	5000 amp.

b) Tablero de alta tensión

Es aquel que trabaja a una tensión mayor de 1000 volts de co -
rriente alterna o mayor de 1,500 volts de corriente continua.

Las tensiones nominales de corriente alterna son: 2400, 4160, -
7200, 13800, 23000, 34000 volts.

Las corrientes nominales tanto para corriente alterna como con -
tínua son:

600 amp.	3000 amp.
1200 amp.	4000 amp.
2000 amp.	5000 amp.

Las condiciones generales de servicio en los tableros que uti -
lizan aire como medio aislante y refrigerante, deberán ser adecua -
dos para operar en el interior hasta a 1000 S.N.M.* y a una tempera -
tura no mayor de 40°C. Si se opera en otras condiciones, se debe -
rán especificar éstas al fabricante.

Las condiciones a especificar son:

- a) Si el tablero está expuesto o no a la intemperie.
- b) Si el tablero va a estar expuesto a salpicaduras o caída de agua o lodo.
- c) Indicar la presencia de humos o vapores corrosivos.

* Metros sobre el nivel del mar.

- d) Indicar la presencia de vapores de agua.
- e) Indicar si hay presencia de vapores de aceite.

Para su protección en los circuitos trifásicos de 3 ó 4 hilos debe hacerse con un mínimo de 3 dispositivos de conexión.

La forma de construcción de los tableros de distribución de baja tensión se hace como sigue:

- a) Cada interruptor tendrá su compartimiento.
- b) Los instrumentos de medición, control, elementos indicadores y otros dispositivos se deberán alojar en compartimientos propios en las puertas o cubiertas frontales de los compartimientos de interruptores.
- c) El espacio que no ocupen los interruptores y demás equipo de protección y medición, servirá para alojar las barras colecto - ras del tablero y para colocar también transformadores de medición y control, fusibles, reactores, pararrayos y condensadores.
- d) Las barras colectoras correspondientes a diferentes fuentes de alimentación se separan en compartimientos propios.

VALORES COMERCIALES DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Capacidades:	de 0.6 a 50VA.
Precisión:	de 0.1 a 3% del valor nominal.
Fabricación:	hasta 13.8 kv en tipo seco, para mayores volta <u>je</u> s el dieléctrico es aceite u otro líquido <u>se</u> mejante.

Relaciones comerciales de transformación 10/5, 25/5, 100/5, 500/5,-
800/5, 1000/5.

VALORES COMERCIALES DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Capacidades: de 0.6 a 50 VA.
Precisión: 0.1 a 3% del valor nominal.
Fabricación: hasta 13.8 ó 23 kv puede ser de tipo seco el -
dieléctrico, para voltajes mayores el dieléctri-
co es aceite u otro líquido semejante.

Relaciones comerciales de transformación 220/115, 480/115, 750/115,
1200/115, 2400/115, 4160/115, 7200/115, 23000/115, 34,500/115.

Para la elaboración de los tableros es necesario contar con:

- 1) Diagrama unifilar.
- 2) Diagrama trifilar.
- 3) Disposición del equipo.
- 4) Diagrama de alambrado.

Tipos de tableros.

Se anexará también:

- Datos para la protección de motores en sistemas de baja tensión.
- Capacidades de interruptores para motores.
- Capacidades máximas para interruptores termomagnéticos de moto-
res y circuitos derivados.

II. OPERACION DE LA RED ELECTRICA

INTRODUCCION

En la operación de la red eléctrica en una industria se debe destacar como su principal objetivo la de lograr una eficiente operación de los sistemas de distribución, esto es el resultado de una adecuada instalación del sistema así como una bien realizada obra - previa, sin embargo, no se está exento de una serie de factores ajenos que al presentarse originan fallos, ocasionando con esto trastornos en algunas partes que pueden afectar, ya sea parcial o totalmente su operación, dejando por tanto fuera de servicio la parte - del sistema que se ha visto dañado; en la mayoría de los casos puede ser reducida su magnitud, ya que en estos sistemas se cuenta con la suficiente flexibilidad para ello, no dejan de presentar un problema para la industria, ya que baja con esto sus condiciones óptimas de proceso o bien se interrumpe algún ciclo de producción representando esto una pérdida de dinero para la industria en cuestión, - así como de tiempo.

Por lo tanto para lograr una eficiente operación en los sistemas tanto en condiciones normales, como en situaciones imprevistas, se hace necesario contar con un equipo bien organizado de personas - que conozcan perfectamente la parte del sistema en que le corresponde realizar sus funciones, además de tener amplias nociones del sistema en general.

Además de las medidas de seguridad, se deben considerar cuatro características básicas para cualquier clase de construcción de equipo eléctrico que garanticen una adecuada operación.

a) Capacidad

Cualquier sistema de transmisión eléctrica debe tener la capacidad suficiente para conducir la corriente necesaria de carga - prevista en el diseño, más una capacidad adicional de reserva - cuidadosamente determinada para cubrir, de antemano los aumen-tos de carga para un período dado.

b) Flexibilidad

Dependiendo de las actividades que se desean desarrollar en un edificio determinado, el equipo eléctrico tiene que diseñarse - en forma tal que permita cierta flexibilidad en la distribución de circuitos y de acuerdo con la clase de edificio (industrial- en nuestro caso), la planeación debe dejar margen a la posibili-dad de cambios en la situación de los artefactos de alumbrado, - en los motores o en cualquier otro tipo de elemento de carga.

c) Accesibilidad

Cualquier sistema eléctrico debe tener facilidades de acceso pa-
ra las necesidades de aseo, mantenimiento y reparaciones, así -
como alguna posibilidad de extensión o modificación en el siste-
ma.

d) Confiabilidad

En concordancia con la naturaleza de las actividades que se han

de efectuar en el edificio, pueden ser de importancia las consi
deraciones sobre la continuidad del servicio de las líneas eléc
tricas y una seguridad absoluta de suministro en cualquier pun-
 to del sistema. Tales edificios son como el ejemplo mostrado -
 en el último capítulo de este trabajo. En fábricas con proce -
sos industriales especializados y con equipos de funcionamiento
 imprescindible, se recomienda el empleo de plantas de emergen -
cia para el servicio general o de múltiples plantas chicas.

ARRANQUE DE UN MOTOR

VALOR DE LA CORRIENTE DE ARRANQUE DE UN MOTOR

Si sabemos que la corriente absorbida por un motor está dada-
 por:

$$I = \frac{U - E}{R_a} \dots 1$$

Donde:

U: Voltaje entre bornes.

E: Fuerza electromotriz.

R_a: Resistencia de armadura.

El momento de arranque es el instante preciso en que las cu -
chillas del interruptor entran en contacto con las mordazas, por lo
 cual el voltaje de alimentación está aplicado a los bornes del indu-
 cido cuando el motor aún no ha tenido tiempo de ponerse en movimien
to, por lo que no girando el motor su fuerza contra electromotriz -
 es nula, ya que

$$E = Kn\phi \text{ y } n = 0$$

K = Constante

n = Velocidad del inducido

ϕ = Flujo útil en el inducido

Por lo tanto en 1

Si $n = 0$, $E = 0$ y $U - E = U$, la corriente absorbida en ese instante es:

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

Vemos que en el momento del arranque del motor, la corriente está solo limitada por la resistencia interior de la máquina, cuyo valor es siempre pequeño (el necesario para soportar la corriente de régimen), debido a lo anterior la corriente en el momento del arranque es extremadamente alta.

VALOR DE LA CORRIENTE DE REGIMEN

Como se vió anteriormente al aplicar al inducido el voltaje de alimentación la corriente tiene un valor máximo muy elevado; el motor empieza a girar primero lentamente, después con mayor velocidad. Durante este período se dice que el motor arranca.

Al aumentar la velocidad n la fuerza contra electromotriz que era nula cuando la velocidad lo era también aumenta, el término $U - E$ disminuye de valor a medida que E aumenta, por lo cual la corriente absorbida disminuye.

$$I = \frac{U - E}{R}$$

Por todo lo antes expresado, durante el período de arranque - el par motor es mayor que el par resistente. Su velocidad se estabiliza cuando su fuerza electromotriz alcance tal valor que la co - rriente absorbida asegure exactamente el par igual al par resistente; es en este momento cuando el motor alcanza su velocidad normal - o de régimen.

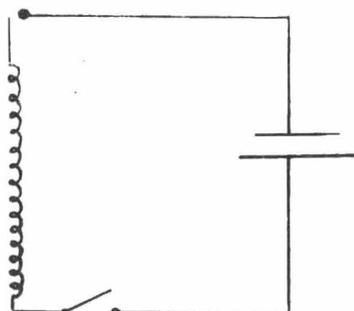
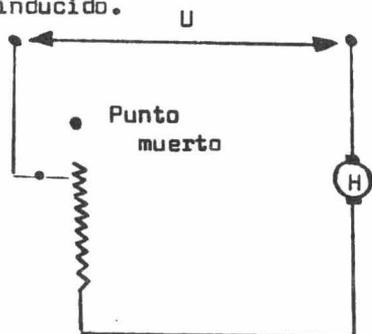
LIMITACION DE LA CORRIENTE DE ARRANQUE

Para evitar la elevación de la temperatura en los conductores del inducido y el corto circuito entre sus terminales, que afectan - considerablemente la máquina, es necesario limitar la corriente al - iniciar el arranque a un valor tal, que no sea peligroso y evite el calentamiento debido a su paso; para disminuir el valor de la co - rriente basta aumentar su resistencia a través de resistencias suple - mentarias en serie.

La resistencia colocada en el circuito del inducido para limi - tar el valor de la corriente de arranque deberá eliminarse una vez - terminado éste. Para eliminarla basta ponerla en corto circuito, - sin embargo, en caso de disminuir bruscamente la resistencia del - circuito, la corriente aumentaría muchísimo; con el fin de evitar - esta sobre intensidad es preferible eliminar la resistencia progre - sivamente, sustituyéndola por un reóstato.

Este reóstato o limitador de corriente de arranque es absolu - tamente indispensable al conectar un motor sobre todo si es de co - rriente continua. Se coloca en serie con el circuito del inducido,

pudiendo llevar un punto muerto o sea un punto aislado de la resistencia, sirviendo en este caso también como interruptor del circuito inducido.



Conexión de un reóstato de arranque en un motor

PAR DE ARRANQUE DE UN MOTOR

En general se traza experimentalmente la curva del par en función de la corriente del inducido, para esto, estando cerrado el freno se alimenta el inducido del motor con un voltaje continuo regulable o se coloca en el circuito de su inducido un reóstato que sea suficiente. Se coloca también un amperímetro en serie en el circuito del inducido para medir en cada momento el valor de la corriente, anotando los diversos valores del par correspondiente a cada lectura. Sirviéndose de los puntos obtenidos se traza la curva del par en función de la corriente inductora, llevando los valores del par sobre el eje de las ordenadas y sobre el de las abscisas los valores de la corriente inducida. (Fig. 18).

Según la curva vemos que el par es nulo cuando también lo es la corriente inducida, después la parte recta de la curva nos mues-

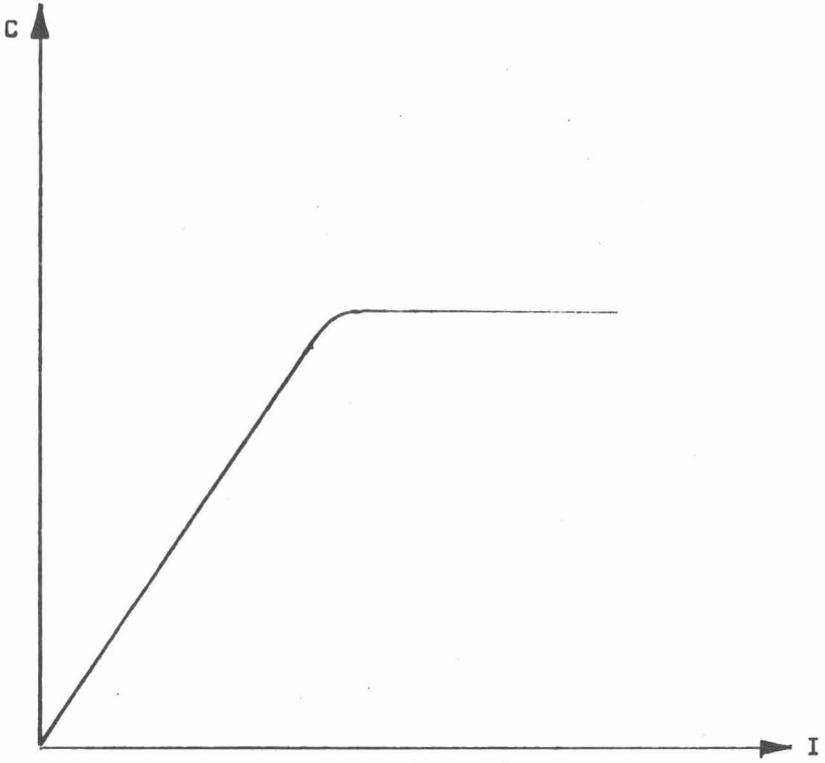


Fig. 18

tra que hasta un cierto valor de la corriente inducida el par es -
proporcional a esta corriente. Posteriormente el par crece con ma-
yor rapidéz que la corriente y finalmente conserva un valor constante
te cuando aumenta la corriente.

La curva obtenida es interesante, ya que es válida cuando el-
motor gira, ya que el par está dado en función de la corriente que-
pasa por el inducido, haciéndonos comprender que no hay ninguna venta
taja al sobre cargar un motor, es decir, en hacerlo trabajar con un
par superior al normal para el cual ha sido construido, ya que el -
aumento del par origina un aumento de la corriente inducida absorbida
da, a la cual no corresponde un aumento proporcional del par motor,
pudiendo ser peligroso el calentamiento.

MOTORES Y ARRANCADORES

Los ductos conductores de enchufe instalados en líneas en to-
da la planta, hacen posible incertar una clavija corta circuitos en
cualquier punto deseado y por medio de colgantes de cordón de caucho
cho, que se conectan a las máquinas, se suministra energía a los -
circuitos derivados para los motores, lo que permite accionar estas
máquinas.

Dentro de cada sección de la planta industrial existen difere
rentes tipos de máquinas o equipo que funcionan ya sea por medio de
motores eléctricos o algún otro dispositivo. Enfocaremos nuestra -
atención hacia las máquinas movidas por motores eléctricos que uti-

lizan controladores de paro y arranque en su funcionamiento.

Suponiendo que los motores que impulsan a estas máquinas es -
tán clasificados como trifásicos 220 volts. La corriente que deman
da cada uno depende del caballaje nominal individual, y puede deter
minarse mediante la fórmula:

$$\text{Amperes} = \frac{\text{h.P.} \times 746}{\text{volts} \times 1.73 \times \text{ef} \times \text{ep}}$$

h.P. caballos de fuerza

1.73 Constante (circuitos trifásicos)

ef eficiencia del motor

fp factor de potencia de la carga

La fórmula puede usarse con cualquier motor trifásico. Cuando se conoce la corriente de un motor a plena carga, el ajuste adecuado de los relevadores de sobre carga, el tamaño mínimo de alam -
bre que puede usarse y la capacidad del corta circuitos protector -
del ramal pueden determinarse mediante el código. (Tabla 1).

TIPOS DE MOTORES

Se notará que entre los motores pedidos para accionar las diversas máquinas, hay varios tipos diferentes que poseen características o formas de comportamiento totalmente distintas. Por lo tanto, el tipo de arrancador o controlador para cada uno es diferente.

Mencionaremos algunos de los más comunes (motores-arrancado -
res).

MOTORES DE TIPO DE JAULA DE ARDILLA DE UNA VELOCIDAD

TABLA 1

(Tabla 430-150 del Código NE)

AMPERAJE A PLENA CARGA DE LOS MOTORES TRIFASICOS DE CORRIENTE ALTERNA

Para determinar la corriente a plena carga de los motores de 200 y 208 volts, aumentense los valores correspondientes a 220 volts al 6 o 10% respectivamente.

Los valores anotados sobre los amperajes a plena carga, corresponden a motores que giran a velocidades comunes para trabajar por medio de banda y para momentos de torsión de características normales. Los motores contruidos para velocidades especialmente bajas o para momentos de torsión altos requieren mayores amperajes de operación, en cuyo caso se tomarán en cuenta las corrientes indicadas en las placas de características.

Las tensiones indicadas para los motores son voltajes de régimen. Los voltajes nominales correspondientes a los sistemas de suministro son: 110 a 120, 220 a 240, 440 a 480 y 550 a 600 volts.

HP	Motores de inducción con rotores del tipo de jaula de ardilla y embobinados, amp					Motores del tipo sincrónico con factor de potencia equivalente a la unidad, amp*			
	110 volts	220 volts	440 volts	550 volts	2,300 volts	220 volts	440 volts	550 volts	2,300 volts
1/2	4	2	1	0.8					
3/4	5.6	2.8	1.4	1.1					
1	7	3.5	1.8	1.4					
1 1/2	10	5	2.5	2.0					
2	13	6.5	3.3	2.6					
3	....	9	4.5	4					
5	....	15	7.5	6					
7 1/2	....	22	11	9					
10	....	27	14	11					
15	....	40	20	16					
20	....	52	26	21					
25	....	64	32	26	7	54	27	22	5.4
30	....	78	39	31	8.5	65	33	26	6.5
40	....	104	52	41	10.5	86	43	35	8
50	....	125	63	50	13	108	54	44	10
60	....	150	75	60	16	128	64	51	12
75	....	185	93	74	19	161	81	65	15
100	....	246	123	98	25	211	106	85	20
125	....	310	155	124	31	264	132	106	25
150	....	360	180	144	37	...	158	127	30
200	....	480	240	192	48	...	210	168	40

* Para fp de 90 y de 80%, las cifras anotadas deberán multiplicarse por 1.1 o 1.25, respectivamente.

TABLA 1

(Tabla 430-146 del Código NE)

(Continuación)

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)		(6)		(7)	
Capacidad o calibración máxima admisible de dispositivos para proteger ramales de circuitos										
Corriente a plena carga del motor, amp	Para protección de motores en marcha		Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. De pleno voltaje, arranque por resistencia o reactor, letras del Código de F a V		Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. Arranque a pleno voltaje, por resistencia o por reactor, letras del Código de B a E. Para arranque por autotransformador, letras F a V		Con marca de letras del Código Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, letras del Código de B a E		Con marca de letras del Código Todos los motores con la letra A del Código	
	Corriente máxima de asignación para dispositivos de protección no ajustables, amp	Ajuste máximo de los dispositivos de protección regulables, amp	Sin letras del Código Igual que en los anteriores		Sin letras del Código (No más de 30 amp). Con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*		Sin letras del Código (Más de 30 amp) Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*		Sin letras del Código De corriente directa y de rotores embobinados	
			Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)
400	500	500.00	1,200	...	1,000	800	800	800	600	600
420	600	525.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	700
440	600	550.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	700
460	600	575.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	700
480	600	600.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	800
500	...	625.00	1,600	...	1,600	...	1,000	...	800	800

* Los motores con embobinado en forma de jaula de ardilla de alta reactancia son aquellos diseñados especialmente para auto-limitar la corriente de arranque por medio de circuitos inducidos en ranuras profundas o por embobinado doble del inducido y se arrancan, generalmente, a pleno voltaje.

En este tipo de motor el rotor de acero laminado, en lugar de tener un devanado ordinario, está provisto de barras de cobre o aluminio colocadas axialmente alrededor de la periferia del rotor y en corto circuito mediante anillos de cobre o aluminio instalados en sus extremos. Tienen un buen torque de arranque y sus características de funcionamiento los hacen ideales para uso general.

Un motor de inducción se contruye como un transformador excepto que el embobinado secundario y el núcleo se montan en una flecha ajustada sobre cojinetes de tal manera que permitirán girar al secundario o rotor. Un motor de inducción consiste en 2 circuitos eléctricos (estator y rotor) unidos mediante un circuito magnético-común. La corriente eléctrica aplicada al devanado del estator induce una corriente secundaria en el devanado del rotor, que es un circuito cerrado, un corto circuito directo o a través de una resistencia. La corriente inducida circula siempre en dirección opuesta al flujo de la corriente aplicada y con un retraso de 90° ó $1/4$ de circuito atrás. Los campos magnéticos establecidos en el estator y rotor, se hallan en una posición tal, el uno con respecto al otro que se desarrollan fuerzas de atracción y repulsión siempre en la misma dirección (hacia la derecha o hacia la izquierda). El resultado de estas fuerzas produce torque y rotación.

Los polos norte y sur del estator giran con velocidad sincrónica. Los polos del rotor giran a velocidad sincrónica, menos el deslizamiento. Los polos del estator y del rotor están siempre en la po

sición mostrada, el uno con respecto al otro. Como los polos desiguales se atraen y los iguales se repelen, se desarrollan fuerzas que causan la rotación.

La fuerza que actúa en el anillo del rotor, multiplicada por el radio, se conoce como par:

$$\text{Caballo fuerza} = \frac{\text{par} \times \text{rpm}}{5250}$$

Los polos magnéticos del rotor están siempre en un punto central entre los polos magnéticos del estator. Como puede verse en el diagrama, las fuerzas de atracción y repulsión actúan juntas y ninguna trabaja contra la otra. La frecuencia de la corriente puede ser 60 ciclos. Esto se aplica al devanado del estator, pero la frecuencia en el rotor es muy baja y varía con el deslizamiento. El deslizamiento es la diferencia entre la velocidad teórica del motor y la velocidad real bajo plena carga.

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$N_s = \frac{f}{p/z}$$

Donde:

f = frecuencia

p = número de polos

s = deslizamiento

ARRANCADORES DIRECTOS A LA LINEA

Los motores de tipo de jaula de ardilla en los tamaños más pe

queños usan lo que se conoce como arrancadores a través de la línea, o más simplemente "arrancadores directos a la línea". El arrancador de línea es un interruptor o contactor magnético provisto con relevadores de sobre carga para obtener protección durante la mar - cha del motor.

Se suministra una subestación de botones para arrancar, parar, hacer funcionar el motor en sentido contrario, o durante lapsos muy cortos.

ARRANCADORES POR RESISTENCIA

En los arrancadores de resistencia primaria, la alta corriente de arranque hace bajar el voltaje al pasar a través de las resis - tencias primarias, lo que dá por resultado una disminución de volta - je en las terminales de armadura del motor. El motor acelera con - menos par que en los casos en que se usan arrancadores de línea. - Cuando el motor ha alcanzado casi la velocidad normal, un relevador retardador de tiempo ajustado, cierra un segundo contactor que desconecta las resistencias primarias y lo pone en corto circuito a la lí - nea; cuando ocurre esto, el motor recibe todo el voltaje de la lí - nea y acelera hasta alcanzar su velocidad normal.

ARRANCADORES DE VOLTAJE REDUCIDO

Estos arrancadores emplean un autotransformador para obtener un voltaje reducido. Cuando se oprime el botón de arranque un inte - rruptor magnético de 5 polos conecta el autotransformador a la lí - nea

nea y unas derivaciones de éste, que poseen aproximadamente el 70% del voltaje de la línea, se conectan a los terminales del motor. Esta acción constituye la porción de arranque a voltaje reducido del ciclo, y el motor comienza a funcionar. Después de transcurrir varios segundos, un relevador de tiempo abre el primer contactor y cierra un segundo contactor de 3 polos. Esta acción desconecta el autotransformador de la línea y conecta el motor directamente a través de ella, lo que acelera el motor a su velocidad normal.

MOTOR DE INDUCCION DE ROTOR DEVANADO

Este tipo de motor funciona con el mismo principio que el ordinario de jaula de ardilla. Sin embargo, hay muchas diferencias en cuanto a su construcción y comportamiento.

El rotor en lugar de tener una construcción de barras sólidas y anillos en los extremos, tiene un devanado trifásico muy parecido al embobinado del estator. Las terminales del devanado del rotor se conectan a 3 anillos colectores de bronce montados concéntricamente en la flecha del motor. 3 juegos de escobillas de carbón grafitado de baja resistencia, montadas en porta escobillas, hacen contacto con la corriente que se toma de estos anillos colectores.

Controlador de resistencia secundaria, es el empleado para este tipo de motor. Los 3 portaescobillas se conectan entonces a las 3 resistencias externas, que tienen una conexión común en sus extremidades. Estas resistencias se ponen en corto circuito en varios pasos. Con todas ellas en el circuito se aumenta la resistencia to

tal del rotor y cuando el motor se encuentra funcionando, esto tiene el efecto de aumentar grandemente el par o fuerza de rotación del motor. El aumento en el par va acompañado por una disminución proporcional de la velocidad. Al cortar la resistencia el motor adquiere más velocidad y el par disminuye. Cuando toda la resistencia quede eliminada y los mismos porta escobillas se encuentran en corto circuito, el motor funciona a su máxima velocidad. El controlador de resistencia secundaria se emplea como arrancador para obtener velocidad sin jalones o esfuerzos, y se utiliza también en operaciones de funcionamiento normal, para ajustar el par y la velocidad a cualquier grado deseado.

ARRANCADORES PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Para arrancar motores hay una diversidad de medios, entre los que podemos mencionar desde el simple switch de un 1, 2 ó 3 polos con o sin fusibles. Pero debemos tener en cuenta que pasando de 4-caballos, se hace necesario arrancar los motores, por medios en los que no se altere el voltaje de la instalación por el alto amperaje que toman al arranque.

Podemos ver algunos diagramas de conexión de arrancadores.

DIAGRAMA 1

Tenemos la conexión simple de un arrancador sencillo que solo conecta y desconecta el motor de 3 fases.

Mencionaremos algunos de los más comunes:

ARRANCADORES MANUALES DE CORRIENTE ALTERNA

a) Compensadores manuales

Son arrancadores manuales de voltaje reducido tipo autotransformador.

Se emplea para arrancar motores de inducción cuando es objeto -
ble arrancar los motores a voltaje pleno directa a la línea. -
Con estos aparatos se logra que el motor tome menos corriente -
de la línea durante el período de arranque, disminuyendo igual-
mente el per de arranque, que puede ser perjudicial a la máqui-
na movida. El motor queda protegido contra sobrecorriente me -
diante relevadores tipo de aleación fusible. Los contactos es-
tán sumergidos en aceite. Para la aplicación de estos tipos de
arrancadores hay que tomar en cuenta; potencia del motor, volta
je, corriente normal del motor a plena carga y frecuencia (cps).

b) Arrancadores manuales directos

Voltaje de línea de corriente alterna. Estos arrancadores son-
para motores de baja capacidad, se usan cuando se pueden conec-
tar los motores directamente a la línea sin necesidad de redu -
cir el voltaje durante el arranque. Están protegidos contra so
bre corriente por elementos térmicos de aleación fusible.

c) Arrancadores manuales para motores fraccionarios

Proporcionan una manera muy adecuada para arrancar y parar moto
res fraccionarios a voluntad ya sean de corriente alterna o co-
rriente continua. Constan de elementos térmicos de aleación fu

sible para proteger los motores contra sobre corriente.

d) Arrancadores manuales para motores de telar

Se utilizan en la industria textil. Resisten el manejo rudo y pueden agruparse varios motores en un arrancador siempre y cuando no sean mayores de 2 HP cada uno. Protegen a los motores contra sobre carga mediante el uso de elementos térmicos de aleación fusible.

e) Arrancadores reversibles tipo tambor

Estos permiten invertir la marcha de un motor conectado directamente al voltaje pleno de la línea. No tiene protección contra sobre carga o contra bajo voltaje.

f) Relevadores magnéticos para corriente alterna

Se usan como auxiliares para controlar pequeñas cargas, tales como motores monofásicos, fraccionarios, calentadores, señales de alarma, etc. Pueden ser accionados por un termostato, un flotador, un switch de presión, etc.

g) Arrancadores para motores de corriente alterna a tensión completa

Estos constituyen el medio más sencillo de arrancar motores cuando el par de arranque en estas condiciones no causa daño en la máquina movida y la corriente tomada a la línea no es excesiva para la línea de alimentación. Pueden usarse en motores de inducción, jaula de ardilla, o rotor devanado. En este último caso se necesitan controlar también las resistencias conectadas -



al secundario.

QUINTO.

La protección contra sobre carga del motor es proporcionada por 2 relés sensibles a la corriente conectados en serie con el devanado del motor.

Si este toma de la línea una corriente mayor que la normal como resultado de una sobre carga en el motor, una tensión baja en la línea o la falta de tensión en una de las fases; se abre un contacto en el circuito de control del arrancador, desconectando la bobina y abriendo los contactos del arrancador.

Las bobinas que operan estos arrancadores trabajan satisfactoriamente con voltajes 15% abajo o 10% arriba de lo normal y sirven para frecuencias de 25 ciclos a 60.

Cuando se interrumpe la corriente en la bobina se abre el interruptor lo cual sirve de protección al motor contra bajo voltaje.

Para restablecer el arrancador se hace necesario oprimir nuevamente el interruptor del botón. Esto hace que los motores no arranquen por sí solos, al restablecerse el voltaje, lo cual sería peligroso.

h) Arrancadores magnéticos combinados

Estos aparatos constan de un arrancador a tensión completa y un switch con fusibles combinados en una sola caja. El primero protege el motor contra sobre carga y el segundo protege la línea y el arrancador contra corto circuito. Existen también con interruptor termomagnético para corriente alterna.

i) Arrancadores estrella-delta

Este tipo de arrancador se usa como en el caso de los arrancadores a voltaje reducido, cuando se quiera reducir el par de arranque o la corriente de arranque que resultaría de conectar el motor directamente a la línea. Pueden usarse en motores que tienen accesibles las 6 puntas del embobinado del motor, conectándolo primero en estrella y luego en delta. El cambio de una conexión a otra puede hacerse en forma manual o automática.

j) Arrancadores magnéticos reversibles

Sirven para operar un motor de corriente alterna en ambas direcciones. Conectan el motor directamente a la línea y pueden - - usarse cuando el par de arranque no perjudique a la máquina movida, y cuando la corriente de arranque del motor no sea demasiado intensa para la línea.

III. MEDIDAS GENERALES DE SEGURIDAD

El objeto de este capítulo es dar información básica (incluyendo fórmulas, tablas, tarjetas y procedimientos experimentados), sobre los requisitos mínimos de seguridad, para la instalación, operación y uso de cables y alambres eléctricos, así como de aparatos y equipos requeridos en la red eléctrica.

Estas tablas fueron tomadas del National Electric Code. 1964.

El N.E.C. está reconocido como un patrón legal en el diseño e instalación de sistemas eléctricos; dentro de las normas de seguridad, las autoridades lo toman como base en caso de litigio.

Las compañías de seguros utilizan esto como punto de partida para la asignación de primas al asegurar cualquier inmueble.

PROTECCION DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

Ya que un sistema de protección es un conjunto de aparatos puestas en servicio del sistema eléctrico con el fin de evitar fallas y disminuir el efecto de éstas.

Ahora bien, las formas generales de protección son:

- 1) Fusibles.
- 2) Apartarrayos.
- 3) Hilos de guarda.
- 4) Aislamientos.
- 5) Ventilación.

- 6) Sistema de tierra.
- 7) Protección física.
- 8) Protección por relevadores.

Se evitan parcialmente las fallas con aislamientos adecuados, que van a mantener en operación correcta a nuestro sistema, evitando con esto que agentes externos intervengan y alteren el buen funcionamiento. Las fallas debidas a agentes internos se evitan dando distancias y capacidades apropiados.

Se debe contar también, en los casos que así lo requieran, con un sistema de ventilación efectivo para el equipo eléctrico, esto es con el fin de expulsar la energía térmica nociva acumulada.

Los pararrayos son aparatos con los cuales se disminuyen los efectos de sobretensiones, creadas bien sea por descargas atmosféricas o por la operación de interruptores, desviándose sus efectos hacia la tierra. Los hilos de guarda y mástiles tienen una función semejante.

Los interruptores y fusibles cuentan con una capacidad interruptiva, por lo que pueden desligar una parte del sistema que haya sido afectada por una falla o sobrecarga. Debido a su elemento térmico, los fusibles se funden al ocurrir una falla, aislando en esta forma al sistema, sin embargo, los interruptores reciben primero una señal de apertura de relevadores que detectan la falla, debido a esto, un interruptor sin relevadores no es más que un aparato para abrir y cerrar con carga.

CIRCUITOS ELECTRICOS

Una aproximación lógica a los valores de diseño de un sistema de distribución se inicia con el diseño de los circuitos ramales que alimentan a los centros de carga, después de lo cual se tendrán que prever los tableros para efectuar las derivaciones de los diferentes circuitos y para protegerlos allí en donde reciban su energía - de las líneas principales de alimentación, posteriormente se tendrán que considerar los circuitos para la conducción de la energía necesaria y finalmente se tendrá que agregar un tablero de distribución general y el equipo de servicio necesario.

En la tabla 2 se presentan los datos sobre las condiciones de uso para varios tipos de conductores con sus forros de aislamiento correspondientes, para tensiones hasta 600 volts, la selección apropiada de éstos para un circuito determinado depende del voltaje de dicho circuito, sin embargo, para las líneas de alto voltaje (mayor de 600 volts) hay que tomar en cuenta los datos del fabricante.

Las propiedades de los conductores para circuitos de corriente alterna y de corriente continua se muestran en las tablas 3 y 4.

Para cualquier circuito de dos hilos, si se conoce la corriente que debe suministrarse para la carga y la longitud del circuito - se puede determinar la superficie del conductor requerido para soportar la carga, mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{2R \times I \times L}{V}$$

TABLA 2
(Tabla 310-2 del Código NE)
APLICACION Y CONSTRUCCION

Nombre comercial	Siglas del tipo	Temperatura máxima de operación	Indicaciones de aplicación
Alambre con forro de hule para conexión de aparatos	RF-1*	60°C 140°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts.
Sólido, o torzal de 7 hilos	RF-2*	60°C 140°F	Alambre para conexión de aparatos y para usos permitidos según la Sec. 310-8.
Alambre con forro de hule para conexión de aparatos	FF-1*	60°C 140°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts.
Cable flexible	FF-2*	60°C 140°F	Alambre para conexión de aparatos y para usos permitidos según Sec. 310-8.
Alambre con forro de hule resistente al calor	RFH-1*	75°C 167°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts.
Sólido o torzal de 7 hilos	RFH-2*	75°C 167°F	Alambre para conexión de aparatos y para usos permitidos según la Sec. 310-8.
Alambre con forro de hule resistente al calor	FFH-1*	75°C 167°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts.
Cable flexible	FFH-2*	75°C 167°F	Alambre para conexión de aparatos y para usos permitidos según la Sec. 310-8.
Alambre con forro termoplástico, sólido o como cable flexible	TF*	60°C 140°F	Alambre para conexión de aparatos y para usos permitidos según la Sec. 310-8.
Alambre con forro termoplástico, como cable flexible	TFF*	60°C 140°F	Alambre para conexión de aparatos.
Alambre con forro de algodón resistente al calor, para aparatos	CF*	90°C 194°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts.
Alambre con forro de asbesto resistente al calor para conexión de aparatos	AF*	150°C 302°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts y para servicios en interiores secos.
Alambre con forro de silicón y hule, para conexión de aparatos	SF-1*	200°C 392°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts.
Sólido o como cable de 7 hilos	SF-2*	200°C 392°F	Alambre para conexión de aparatos y para usos permitidos según la Sec. 310-8.
Alambre con forro de silicón y hule, para conexión de aparatos	SFF-1*	150°C 302°F	Alambre para conexión de aparatos. Limitado a 300 volts.
Cable flexible	SFF-2*	150°C 302°F	Alambre para conexión de aparatos y para usos permitidos según la Sec. 310-8.

* Los alambres para conexión de aparatos no son apropiados para utilizarse como conductores de líneas de distribución, ni para la conexión de aparatos estacionarios o portátiles.

TABLA 2

(Tabla 310-2 del Código NE)

(Continuación)

Nombre comercial	Siglas del tipo	Temperatura máxima de operación	Indicaciones de aplicación
Forro de hule, según especificaciones del Código	R	60°C 140°F	Usese sólo en locales secos.
Forro de hule resistente al calor	RH	75°C 167°F	Usese sólo en locales secos.
Forro de hule resistente al calor	RHH	90°C 194°F	Usese sólo en locales secos.
Forro de hule resistente a la humedad	RW	60°C 140°F	Para usarse en sitios secos o húmedos. Para más de 2 000 volts el aislamiento tiene que ser resistente al ozono.
Forro de hule resistente a la humedad y al calor	RH-RW	60°C 140°F 75°C 167°F	Para usarse en sitios secos o húmedos. Para más de 2 000 volts el aislamiento tiene que ser resistente al ozono. Para usarse en sitios secos o húmedos. Para más de 2 000 volts, el aislamiento tiene que ser resistente al ozono.
Forro de hule resistente a la humedad y al calor	RHW	75°C 167°F	Para usarse en sitios secos o húmedos. Para más de 2 000 volts el aislamiento tiene que ser resistente al ozono.
Forro de hule látex	RU	60°C 140°F	Para usarse en locales secos.
Forro de hule látex resistente al calor	RUH	75°C 167°F	Para usarse en locales secos.
Forro de hule látex resistente a la humedad	RUW	60°C 140°F	Para usarse en locales secos o húmedos.
Forro de termoplástico	T	60°C 140°F	Para usarse en locales secos.
Forro de termoplástico resistente a la humedad	TW	60°C 140°F	Para usarse en locales secos o húmedos.
Forro termoplástico resistente a la humedad y al calor	THW	75°C 167°F	Para usarse en locales secos o húmedos.
Forro termoplástico resistente a la humedad y al calor	THWN	75°C 167°F	Para usarse en locales secos y húmedos.
Forro termoplástico con asbesto	TA	90°C 194°F	Para usarse sólo en tableros.
Forro termoplástico con camisa exterior tejida	TBS	90°C 194°F	Para usarse sólo en tableros.
Aislamiento mineral (con revestimiento metálico)	MI	85°C 185°F	Puede usarse en locales secos o húmedos, con terminales de ojillo. Temperatura máxima de operación en aplicaciones especiales, 250°C.
Forro de silicón y asbesto	SA	90°C 194°F	Para usarse en locales secos—temperatura máxima de operación para aplicaciones especiales, 125°, 194°F.

TABLA 2
(TABLA 310-2 DEL CODIGO NE)
(Continuación)

Nombre comercial	Siglas del tipo	Temperatura máxima de operación	Indicaciones de aplicación
Forro de batista con barniz	V	85°C 185°F	Para usarse sólo en locales secos. Más pequeño que del Núm. 6, sólo puede emplearse con permiso especial.
Forro de asbesto y batista barnizada	AVA	110°C 230°F	Usese sólo en locales secos.
Forro de asbesto y batista barnizada	AVL	110°C 230°F	Para usarse en locales secos o húmedos.
Forro de asbesto y batista barnizada	AVB	90°C 194°F	Usese sólo en locales secos.
Forro de asbesto	A	200°C 392°F	Usese sólo en locales secos. En ductos sólo puede emplearse para hilos conductores hacia o dentro de aparatos.
Forro de asbesto	AA	200°C 392°F	Usese sólo en locales secos. Para conexiones visibles. En ductos sólo para hilos hacia o dentro de los aparatos. Limitado a 300 volts.
Forro de asbesto	AI	125°C 257°F	Usese sólo en locales secos. En ductos sólo para hilos hacia o dentro de los aparatos. Limitado a 300 volts.
Forro de asbesto	AIA	125°C 257°F	Usese sólo en locales secos. Para instalaciones visibles. En ductos sólo para hilos hacia o dentro de los aparatos.
Papel		85°C 185°F	Se usa para conductores de líneas de servicio subterráneas, o con permiso especial.

TABLA 3

(Tabla 8 del Cap. 9 del Código NE)

PROPIEDADES DE LOS CONDUCTORES

Los valores indicados en esta Tabla son los mismos publicados en la Nat. Bur. Std. Circ. 31, con la excepción de los que aparecen en la Col. 8, que corresponden a los valores estipulados por la American Society for Testing Materials Specification B33.

Los valores de las resistencias dados en las últimas tres columnas pueden aplicarse sólo a circuitos de corriente directa. Si se emplean conductores más grandes que el número 4/0 con corriente alterna, tienen que aplicarse los factores de multiplicación según la Tabla 9, Cap. 9, del Código NE, para compensar el efecto superficial.

Calibre AWG	Área en m plg cir (mils)	Conductores de cable concéntrico		Conductores desnudos		Resistencia a la corriente di- recta en ohms/1000 pies a 25°C, 77°F		
		Núm. de alambres	Dí. de cada alambre, plg	Dí., plg	Área,* plg ²	Cobre		Aluminio
						Conduc- tor des- nudo	Conduc- tor es- tañado	
18	1,624	Solid	0.0403	0.0403	0.0013	6.510	6.77	10.9
16	2,583	Solid	0.0508	0.0508	0.0020	4.094	4.25	6.85
14	4,107	Solid	0.0641	0.0641	0.0032	2.575	2.68	4.31
12	6,530	Solid	0.0808	0.0808	0.0051	1.619	1.69	2.71
10	10,380	Solid	0.1019	0.1019	0.0081	1.018	1.06	1.70
8	16,510	Solid	0.1285	0.1285	0.0130	0.641	0.660	1.07
6	26,250	7	0.0612	0.184	0.027	0.410	0.426	0.674
4	41,740	7	0.0772	0.232	0.042	0.259	0.269	0.423
3	52,640	7	0.0867	0.260	0.053	0.205	0.213	0.336
2	66,370	7	0.0974	0.292	0.067	0.162	0.169	0.266
1	83,690	19	0.0664	0.332	0.087	0.129	0.134	0.211
0	105,500	19	0.0745	0.373	0.109	0.102	0.106	0.168
00	133,100	19	0.0837	0.418	0.137	0.0811	0.0844	0.134
000	167,500	19	0.0940	0.470	0.173	0.0642	0.0668	0.105
0000	211,600	19	0.1055	0.528	0.219	0.0509	0.0524	0.0837
	250,000	37	0.0822	0.575	0.260	0.0431	0.0444	0.0708
	300,000	37	0.0900	0.630	0.312	0.0360	0.0371	0.0590
	350,000	37	0.0973	0.681	0.364	0.0308	0.0318	0.0506
	400,000	37	0.1040	0.728	0.416	0.0270	0.0278	0.0443
	500,000	37	0.1162	0.814	0.520	0.0216	0.0225	0.0354
	600,000	61	0.0992	0.893	0.626	0.0180	0.0185	0.0295
	700,000	61	0.1071	0.964	0.730	0.0154	0.0159	0.0253
	750,000	61	0.1109	0.998	0.782	0.0144	0.0148	0.0236
	800,000	61	0.1145	1.031	0.835	0.0135	0.0139	0.0221
	900,000	61	0.1215	1.093	0.938	0.0120	0.0124	0.0197
	1,000,000	61	0.1280	1.152	1.042	0.0108	0.0111	0.0176
	1,250,000	91	0.1172	1.289	1.305	0.00864	0.00890	0.0142
	1,500,000	91	0.1284	1.412	1.566	0.00719	0.00740	0.0118
	1,750,000	127	0.1174	1.526	1.829	0.00617	0.00636	0.0101
	2,000,000	127	0.1255	1.631	2.089	0.00539	0.00555	0.00884

* Las superficies dadas son iguales a un círculo que tenga un diámetro equivalente al diámetro total de un conductor de hilos múltiples.

TABLA 4

(Tabla 9 del Código NE, Cap. 9)

FACTORES DE MULTIPLICACION PARA CONVERTIR RESISTENCIAS
DE CORRIENTE DIRECTA A RESISTENCIAS DE CORRIENTE ALTERNA DE 60 CICLOS

Calibre	Factor de multiplicación			
	Para cables con ferro no metálico para líneas aéreas, o en ductos no metálicos		Para cables con ferro metálico, o para todos los cables en ductos metálicos	
	Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
Hasta 3 AWG	1	1	1	1
2	1	1	1.01	1.00
1	1	1	1.01	1.00
0	1.001	1.000	1.02	1.00
00	1.601	1.001	1.03	1.00
000	1.002	1.001	1.04	1.01
0000	1.004	1.002	1.05	1.01
250,000 CM	1.005	1.002	1.06	1.02
300,000 CM	1.006	1.003	1.07	1.02
350,000 CM	1.009	1.004	1.08	1.03
400,000 CM	1.011	1.005	1.10	1.04
500,000 CM	1.018	1.007	1.13	1.06
600,000 CM	1.025	1.010	1.16	1.08
700,000 CM	1.034	1.013	1.19	1.11
750,000 CM	1.039	1.015	1.21	1.12
800,000 CM	1.044	1.017	1.22	1.14
1,000,000 MCM	1.067	1.026	1.30	1.19
1,250,000 MCM	1.102	1.040	1.41	1.27
1,500,000 MCM	1.142	1.058	1.53	1.36
1,750,000 MCM	1.185	1.079	1.67	1.46
2,000,000 MCM	1.233	1.100	1.82	1.56

- A - Area en m plg cir
- I - Corriente de carga en Amp.
- L - Longitud sencilla del circuito
- R - Resistencia del material (cobre 11.5)
- V - Caída de voltaje permitida (1% para alumbrado, 3% para fuerza). Volts.

Se indican las capacidades máximas de conductividad que se pueden obtener de varios tipos de conductores de corriente eléctrica revestidos con aislamiento, dentro de las condiciones de uso indicadas en la Tabla 5. Estas tablas establecen el máximo de aplicación, basándose en la propiedad del conductor recubierto con aislamiento debiendo resistir éste el calor generado por el paso de corriente.

Para usarse en un circuito dado, tiene que considerarse sin embargo, la caída de voltaje, se utilizan frecuentemente conductores más gruesos que los necesarios para satisfacer únicamente los requisitos de temperatura.

CIRCUITOS DE ALUMBRADO Y PARA CONTACTOS

El ramal de un circuito individual, es decir, una derivación sencilla a una caja de contacto o a la conexión directa de una carga, puede tener una asignación de emperaje cualquiera.

Los ramales de circuitos que alimentan a dos o más derivaciones como líneas para alumbrado general o para cajas de contacto tienen que diseñarse de acuerdo a la capacidad.

TABLA 5

(Tabla 310-12 del Código NE)

CORRIENTE ADMISIBLE EN AMPERES

PARA LOS CONDUCTORES DE COBRE CON FORRO AISLANTE

No deben tenderse más de tres hilos en un ducto, ni cables con más de tres conductores; tampoco conviene enterrar más de tres hilos juntos.

(Los datos indicados se basan en una temperatura ambiente de 30°C, 86°F).

Calibre AWG o MCM (M m plg cir)	Hule Tipo R Tipo RW	Hule Tipo RH	Papel		Asbesto Var-Cam Tipo AVA Tipo AVL	Asbesto Impermeado Tipo AI (14-8) Tipo AIA	Asbesto Tipo A Tipo AA
			Asbesto Termoplástico Tipo TA	Termoplástico Tipo TBS			
Tipo RH Tipo RW (14-2)	Tipo RH-RW (14-2)	RHH (14-2)	Silicón Tipo SA	Asbesto Var-Cam Tipo AVB	Cable AI	RHH*	
							Tipo RH-RW Véase nota 9	Tipo RHW Termoplástico Tipo THW
14	15	15	25	30	30	30	
12	20	20	30	35	40	40	
10	30	30	40	45	50	55	
8	40	45	50	60	65	70	
6	55	65	70	80	85	95	
4	70	85	90	105	115	120	
3	80	100	105	120	130	145	
2	95	115	120	135	145	165	
1	110	130	140	160	170	190	
0	125	150	155	190	200	225	
00	145	175	185	215	230	250	
000	165	200	210	245	265	285	
0000	195	230	235	275	310	340	
250	215	255	270	315	335		
300	240	285	300	345	380		
350	260	310	325	390	420		
400	280	335	360	420	450		
500	320	380	405	470	500		
600	355	420	455	525	545		
700	385	460	490	560	600		
750	400	475	500	580	620		
800	410	490	515	600	640		
900	435	520	555				
1,000	455	545	585	680	730		
1,250	495	590	645				
1,500	520	625	700	785			
1,750	545	650	735				
2,000	560	665	775	840			

Factores de corrección para temperaturas arriba de 30°C, 86°F, en interiores

°C °F	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95	
40 104	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95	
45 113	0.71	0.82	0.85	0.90	0.92	
50 122	0.58	0.75	0.80	0.87	0.89	
55 131	0.41	0.67	0.74	0.83	0.86	
60 140	....	0.58	0.67	0.79	0.83	0.91
70 158	....	0.35	0.52	0.71	0.76	0.87
75 167	....	....	0.43	0.66	0.72	0.86
80 176	....	....	0.30	0.61	0.69	0.84
90 194	....	....	....	0.50	0.61	0.80
100 212	....	....	....	....	0.51	0.77
120 248	....	....	....	....	....	0.69
140 284	....	....	....	....	....	0.59

* Los amperajes admisibles para los conductores del tipo RHH en los calibres AWG 14, 12 y 10, son los mismos que los conductores del tipo RH indicados en esta tabla.

TABLA 5

(Tabla 310-13 del Código NE)

CORRIENTE ADMISIBLE EN AMPERES

PARA LOS CONDUCTORES DE COBRE CON FORRO AISLANTE

Conductor sencillo al aire libre (los datos indicados se basan en un local con temperatura ambiente de 30°C, 86°F)

Calibre AWG o MCM (M m ² circ)	Hule Tipo R Tipo RW	Hule Tipo RH	Papel		Asbesto Var-Cam Tipo AVA Tipo AVL	Asbesto inorgánico Tipo AI (14-8) Tipo AIA	Asbesto Tipo A (14-8) Tipo AA	Conductores formados y desnudos		
			Tipo RU Tipo RUW (14-2)	Asbesto termo-plástico Tipo TA					Termo-plástico Tipo TBS	
				RUH (14-2)						Silicón Tipo SA
				Tipo RH-RW Véase nota 9						Var-Cam Tipo V
				Tipo RHW Termo-plástico Tipo THW						Asbesto Var-Cam Tipo AVB
Termo-plástico Tipo TW	THWN	Cable MI	RHH*							
14	20	20	30	40	40	45	30			
12	25	25	40	50	50	55	40			
10	40	40	55	65	70	75	55			
8	55	65	70	85	90	100	70			
6	80	95	100	120	125	135	100			
4	105	125	135	160	170	180	130			
3	120	145	155	180	195	210	150			
2	140	170	180	210	225	240	175			
1	165	195	210	245	265	280	205			
0	195	230	245	285	305	325	235			
00	225	265	285	330	355	370	275			
000	260	310	330	385	410	430	320			
0000	300	360	385	445	475	510	370			
250	340	405	425	495	530	.....	410		
300	375	445	480	555	590	.....	460		
350	420	505	530	610	655	.....	510		
400	455	545	575	665	710	.....	555		
500	515	620	660	765	815	.....	630		
600	575	690	740	855	910	.....	710		
700	630	755	815	940	1,005	.....	780		
750	655	785	845	980	1,045	.....	810		
800	680	815	880	1,020	1,085	.....	845		
900	730	870	940	.....	.....	.....	905
1,000	780	935	1,000	1,165	1,240	.....	965		
1,250	890	1,065	1,130	.....	.....	.....	.....
1,500	980	1,175	1,260	1,450	.....	.....	1,215	
1,750	1,070	1,280	1,370	.....	.....	.....	.....
2,000	1,155	1,385	1,470	1,715	.....	.....	1,405	

Factores de corrección para temperaturas arriba de 30°C, 86°F, en interiores

°C °F	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95		
40 104	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95		
45 113	0.71	0.82	0.85	0.90	0.92		
50 122	0.58	0.75	0.80	0.87	0.89		
55 131	0.41	0.67	0.74	0.83	0.86		
60 140	.....	0.58	0.67	0.79	0.83	0.91	
70 158	.....	0.35	0.42	0.52	0.71	0.87	
75 167	.....	.....	0.43	0.66	0.72	0.86	
80 176	.....	.....	0.30	0.61	0.69	0.84	
90 194	.....	.....	.....	0.50	0.61	0.80	
100 212	.....	.....	.....	.....	0.51	0.77	
120 248	.....	.....	.....	.....	.....	0.69	
140 284	.....	.....	.....	.....	.....	0.59	

* Los amperajes admisibles para los conductores del tipo RHH en los calibres AWG 14, 12 y 10, son los mismos que en los conductores del tipo RH indicados en esta tabla.

TABLA 5

(Tabla 310-14 del Código NE)

CORRIENTE ADMISIBLE EN AMPERES

PARA LOS CONDUCTORES DE ALUMINIO CON FORRO AISLANTE

No deben tenderse más de tres hilos en un ducto ni cables con más de tres conductores; tampoco conviene enterrar más de tres hilos juntos

(Los datos indicados se basan en un local con temperatura ambiente de 30°C, 86°F)

Calibre AWG o MCM (N. m. pl. c.)	Hilo Tipo R, RW, RU, RUW (12-2)	Hilo Tipo RH (14-2)	Papel		Asbesto Var-Cam Tipo AVA Tipo AVL	Asbesto Impregnado Tipo AI (14-8) Tipo AIA	Asbesto Tipo A (14-8) Tipo AA
			Asbesto termoplástico Tipo TA	Termoplástico Tipo TBS			
	Tipo RH-RW Nota 9	Tipo RH-RW Nota 9	Silicón Tipo SA	Var-Cam Tipo V			
	Termoplástico Tipo T TW	Tipo RHW Termoplástico Tipo THW	Asbesto Var-Cam Tipo AVB				
		THWN	Cable MI				
			RHH*				
12	15	15	25	25	25	30	30
10	25	25	30	35	35	40	45
8	30	40	40	45	45	50	55
6	40	50	50	55	60	65	75
4	55	65	70	80	80	90	95
3	65	75	80	95	100	110	115
2†	75	90	95	105	115	130	130
1†	85	100	110	125	135	150	150
0†	100	120	125	150	160	180	180
00†	115	135	145	170	180	200	200
000†	130	155	165	195	210	225	225
0000†	155	180	185	215	245	270	270
250	170	205	215	250	270		
300	190	230	240	275	305		
350	210	250	260	310	335		
400	225	270	290	335	360		
500	260	310	330	380	405		
600	285	340	370	425	440		
700	310	375	395	455	485		
750	320	385	405	470	500		
800	330	395	415	485	520		
900	355	425	455				
1,000	375	445	480	560	600		
1,250	405	485	530				
1,500	435	520	580	650			
1,750	475	545	615				
2,000	470	560	650	705			

Factores de corrección para temperaturas arriba de 30°C, 86°F, en interiores

°C °F	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95	
40 104	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95	
45 113	0.71	0.82	0.85	0.90	0.92	
50 122	0.58	0.75	0.80	0.87	0.89	
55 131	0.41	0.67	0.74	0.83	0.86	
60 140	....	0.58	0.67	0.79	0.83	0.91
70 158	....	0.35	0.52	0.71	0.76	0.87
75 167	....	....	0.43	0.66	0.72	0.86
80 176	....	....	0.30	0.61	0.69	0.84
90 194	....	....	....	0.50	0.61	0.80
100 212	....	....	....	....	0.51	0.77
120 248	....	....	....	....	....	0.69
140 284	....	....	....	....	....	0.59

*Los amperajes admisibles para los conductores del tipo RHH, en los calibres AWG 12, 10 y 8, son los mismos que en los conductores del tipo RH indicados en esta tabla.

† Para los circuitos monofásicos de servicio y los de servicios secundarios que operan con tres hilos, los amperajes admisibles en los conductores de aluminio de los tipos RH, RH-RW, RHH, RHW y THW, deberán ser de 100 amp para el Núm. 2, de 110 amp para el Núm. 1, de 125 amp para el Núm. 1/0, de 150 amp para el Núm. 2/0, de 170 amp para el Núm. 3/0 y de 200 amp para el Núm. 4/0.

TABLA 5

(Tabla 310-15 del Código NE)
CORRIENTE ADMISIBLE EN AMPERES
PARA LOS CONDUCTORES DE ALUMINIO CON FORRO AISLANTE

Conductor sencillo al aire libre. (Los datos indicados se basan en un local con temperatura ambiente de 30°C, 86°F)

Calibre AWG o MCM (Al m pl c/s)	Hule Tipo R, RU, RUW (12-2)	Hule Tipo RH (14-2)	Papel		Asbesto Var-Cam Tipo AVA Tipo AVL	Asbesto Impreg- nado Tipo AI (14-8) Tipo AA	Asbesto Tipo A (14-8) Tipo AA	Conductores forrados y desnudos
			Asbesto Termo- plástico Tipo TA	Termo- plástico Tipo TBB				
			Silicón Tipo SA	Var-Cam Tipo V				
			Asbesto Var-Cam Tipo AVB					
			Cable MI					
			RHH*					
12	20	20	30	40	40	45	30	
10	30	30	45	50	55	60	45	
8	45	55	55	65	70	80	55	
6	60	75	80	95	100	105	80	
4	80	100	105	125	135	140	100	
3	95	115	120	140	150	165	115	
2	110	135	140	165	175	185	135	
1	130	155	165	190	205	220	160	
0	150	180	190	220	240	255	185	
00	175	210	220	255	275	290	215	
000	200	240	255	300	320	335	250	
0000	230	280	300	345	370	400	290	
250	265	315	330	385	415	450	320	
300	290	350	375	435	460	....	350
350	330	395	415	475	510	....	400
400	355	425	450	520	555	....	435
500	405	485	515	595	635	....	490
600	455	545	585	675	720	....	560
700	500	595	645	745	795	....	615
750	515	620	670	775	825	....	640
800	535	645	695	805	855	....	670
900	580	700	750	....	....	....	725
1 000	625	750	800	930	990	....	770
1 250	710	855	905	....	....	....	....
1 500	795	950	1 020	1 175	....	....	985
1 750	875	1 050	1 125	....	....	....	....
2 000	960	1 150	1 220	1 425	....	....	1 165

Factores de corrección para temperaturas arriba de 30°C, 86°F. en interiores

°C °F	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95	
40 104	0.82	0.88	0.90	0.94	0.95	
45 113	0.71	0.82	0.85	0.90	0.92	
50 122	0.58	0.75	0.80	0.87	0.89	
55 131	0.41	0.67	0.74	0.83	0.86	
60 140	....	0.58	0.67	0.79	0.83	0.91
70 158	....	0.35	0.52	0.71	0.78	0.87
75 167	....	....	0.43	0.66	0.72	0.86
80 176	....	....	0.30	0.61	0.69	0.84
90 194	....	....	....	0.50	0.61	0.80
100 212	....	....	....	....	0.51	0.77
120 248	....	....	....	....	....	0.69
140 284	....	....	....	....	....	0.59

* Los amperajes admisibles para los conductores del tipo RHH, en los calibres AWG 12, 10 y 8, son los mismos que en los conductores del tipo RH indicados en esta tabla.

Los cálculos de las corrientes requeridas se basa en las siguientes expresiones:

CIRCUITOS DE DERIVACIONES

Alumbrado y cajas de contacto. Circuitos de 2 hilos con cualquier valor del factor de potencia.

$$\text{Corriente de la Línea} = \frac{\text{Volt. Amper de la carga conectada o watts con el factor de potencia de la unidad}}{\text{Voltaje de la línea}}$$

CIRCUITOS DE 3 HILOS CON CUALQUIER FACTOR DE POTENCIA

Para una sola fase. Aplicar la misma expresión que para el circuito de derivación con 2 hilos, considerando por separado cada línea con respecto al hilo neutro. Tómese el voltaje-hilo neutro como base para el cálculo; el resultado proporciona los valores de la corriente en los conductores de fase.

Para tres fases.

$$\text{Corriente de línea} = \frac{\text{Volts-Ampers de la carga trifásica balanceada}}{\text{Voltaje de las líneas} \times 1.732}$$

Esta asignación para el circuito o ramal debe basarse en la fijación del dispositivo de seguridad contra sobre corriente para protección de la línea.

La tabla 6 estipula los requisitos del Código NEC para circuitos y ramales.

CIRCUITOS PARA LINEAS DE MOTORES

TABLA 6

Conductores de los tipos R, RW, RU, RUW, RH-RW, SA, T, TW, RH, RUH, RHW, RHH, THW y THWN, en ducto o en forma de cable				
Amperaje nominal del circuito	15 amp	20 amp	30 amp	50 amp
Conductores (tamaño mínimo):				
Alambres de circuito	14	12	10	6
Derivaciones	14	14	14	12
Alambres y cordones para aparatos		Véase la Sec. 240-5, excepto Núm. 3		
Protección de sobrecorriente	15 amp	20 amp	30 amp	50 amp
Dispositivos de salida:				
Portálámparas permitidos	Cualquier tipo	Cualquier tipo	De servicio pesado	De servicio pesado
Asignación de las cajas de contacto	15 amp máx	15 o 20 amp	30 amp	50 amp
Carga máxima	15 amp	20 amp	30 amp	50 amp
Carga admisible	Véase la Sec. 210-24(a)	Véase la Sec. 210-24(a)	Véase la Sec. 210-24(b)	Véase la Sec. 210-24(c)

Los conductores para una línea de derivación destinada a la alimentación de un motor deben tener una capacidad de conducción por lo menos igual a la requerida para el arranque del mismo, que es ligeramente mayor que la corriente del motor a plena carga. (Ver tablas 7 y 8).

Los datos tabulados de los circuitos derivados para la alimentación de motores, que incluye conductores, protección contra la sobrecarga durante el servicio y protección contra cortocircuitos para las líneas que están en la tabla 9.

TABLEROS

El cálculo básico sobre la asignación que se requiere para las líneas principales en los tableros de control destinado al servicio de los circuitos de derivación para cargas de alumbrado y cajas de contacto, se calculan de la manera siguiente:

La carga total conectada (Amperes) = a la suma de las cargas de los circuitos de derivación, debiendo considerarse por lo menos un porcentaje adicional como reserva para cada circuito.

CALCULO DE LA CORRIENTE DE MOTORES

$$I = \frac{\text{Carga en watts}}{K \times E \times f_p} = \frac{\text{Carga Volt. Amp.}}{K \times E}$$

K = 1 para circuitos de 2 hilos, con corriente continua o alterna monofásica.

= 1.73 para corriente alterna trifásica.

TABLA 7

(Tabla 430-148 del Código NE)

**CORRIENTES A PLENA CARGA DE LOS
MOTORES MONOFASICOS DE CORRIENTE
ALTERNA**

(Tabla 430-147 del Código NE)

**CORRIENTES A PLENA CARGA EN
AMPERES PARA MOTORES DE CORRIENTE
CONTINUA**

Los valores que se dan a continuación se refieren al trabajo a plena carga a la velocidad básica de los motores

HP	120 volts	240 volts
$\frac{3}{4}$	2.9	1.5
$\frac{1}{2}$	3.6	1.8
$\frac{3}{8}$	5.2	2.6
$\frac{1}{4}$	7.4	3.7
1	9.4	4.7
$1\frac{1}{2}$	13.2	6.6
2	17	8.5
3	25	12.2
5	40	20
$7\frac{1}{2}$	58	29
10	76	38
15	.....	55
20	.....	72
25	.....	89
30	.....	106
40	.....	140
50	.....	173
60	.....	206
75	.....	255
100	.....	341
125	.....	425
150	.....	506
200	.....	675

Los valores que se indican a continuación, correspondientes a los amperajes a plena carga, se aplican a los motores que giran a las velocidades usuales, con las características normales de los momentos de torsión. Los motores contruidos para velocidades especialmente bajas o para momentos de torsión altos, pueden tener corrientes de plena carga más altas, en cuyo caso deben tomarse en cuenta los amperajes de asignación indicados en las placas de características.

Para obtener las corrientes de plena carga en los motores de 208 y 200 volts, tienen que aumentarse los amperajes correspondientes a 230 volts al 10 y 15% respectivamente.

Los voltajes que se indican son los de régimen. Los voltajes nominales de los sistemas de distribución eléctrica son, 110 a 120, 220 a 240, 440 a 480.

HP	115 volts	230 volts	440 volts
$\frac{3}{8}$	4.4	2.2	
$\frac{1}{2}$	5.8	2.9	
$\frac{3}{4}$	7.2	3.6	
$\frac{1}{4}$	9.8	4.9	
$\frac{1}{2}$	13.8	6.9	
1	16	8	
$1\frac{1}{2}$	20	10	
2	24	12	
3	34	17	
5	56	28	
$7\frac{1}{2}$	80	40	21
10	100	50	26

TABLA 8

(Tabla 430-149 del Código NE)

AMPERAJE A PLENA CARGA DE LOS MOTORES DE
DOS FASES, CORRIENTE ALTERNA (4 HILOS)

Los valores que se anotan a continuación sobre los amperajes a plena carga son para motores que giran a velocidades normales, para trabajar por medio de banda y para unidades con momentos de torsión de características comunes. Los motores contruidos para velocidades excepcionalmente bajas o para momentos de torsión altos requieren amperajes mayores, y deben tomarse como base los datos de la placa de características. La corriente en los conductores comunes de los sistemas de tres hilos con dos fases equivale a los valores indicados multiplicados por 1.41.

Las tensiones indicadas para los motores, son voltajes de régimen. Los voltajes nominales correspondientes de los sistemas de suministro, son 110 a 120, 220 a 240, 440 a 480 y 550 a 600 volts.

HP	Motores de inducción con rotores del tipo de jaula de ardilla y embobinados, amp					Motores del tipo sincrónico con factor de potencia equivalente a la unidad,* amp			
	110 volts	220 volts	440 volts	550 volts	2,300 volts	220 volts	440 volts	550 volts	2,300 volts
1/2	4	2	1	.8					
3/4	4.8	2.4	1.2	1.0					
1	6.4	3.2	1.6	1.3					
1 1/2	8.8	4.4	2.2	1.8					
2	11.2	5.6	2.8	2.2					
3	.....	8	4	3.2					
5	.....	13	7	6					
7 1/2	.....	19	9	8					
10	.....	24	12	10					
15	.....	34	17	14					
20	.....	45	23	18					
25	.....	55	28	22	6	47	24	19	4.7
30	.....	67	34	27	7.5	56	29	23	5.7
40	.....	88	44	35	9	75	37	31	7
50	.....	108	54	43	11	94	47	38	9
60	.....	129	65	52	13	111	56	44	11
75	.....	158	79	63	16	140	70	57	13
100	.....	212	106	85	21	182	93	74	17
125	.....	268	134	108	26	228	114	93	22
150	.....	311	155	124	31	.....	137	110	26
200	.....	415	208	166	41	.....	182	145	35

* Si el factor de potencia es de 90 y de 80%, los valores de la tabla se multiplicarán por 1.1 y 1.25 respectivamente.

TABLA 9

(Tabla 430-146 del Código NE)

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE (O SOBRECARGA) DE
MOTORES (VEANSE LAS TABLAS 430-152 Y 430-153 DEL CODIGO)

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)		(6)		(7)		
Capacidad o calibración máxima admisible de dispositivos para proteger rasales de circuitos											
Corriente a plena carga del motor, amp	Para protección de motores en marcha	Ajusto máximo de los dispositivos de protección regulables, amp		Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. De pleno voltaje, arranque por resistencia o reactor, letras del Código de F a V		Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. Arranque a pleno voltaje, por resistencia o por reactor, letras del Código de E a E. Para arranque por autotransformador, letras F a V		Con marca de letras del Código Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, letras del Código de B a E		Con marca de letras del Código Todos los motores con la letra A del Código	
				Sin letras del Código Igual que en los anteriores		Sin letras del Código (No más de 30 amp) Con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*		Sin letras del Código (Más de 30 amp) Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*		Sin letras del Código De corriente directa y de rotores embobinados	
		Corriente máxima de asignación para dispositivos de protección no ajustables, amp	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)		Fusibles		Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)		Fusibles		Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)
1	2	1.25	15	15	15	15	15	15	15	15	
2	3	2.50	15	15	15	15	15	15	15	15	
3	4	3.75	15	15	15	15	16	15	15	15	
4	6	5.0	15	15	15	15	16	15	15	15	
5	8	6.25	15	15	15	15	15	15	15	15	
6	8	7.50	20	15	15	15	15	15	15	15	
7	10	8.75	25	20	20	15	15	15	15	15	

TABLA 9
(Tabla 430-146 del Código NE)

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE (O SOBRECARGA) DE MOTORES

(Continuación)

8	10	10 0	25	20	20	20	20	20	15	15
9	12	11.25	30	30	25	20	20	20	15	15
10	15	12.50	30	30	25	20	20	20	15	15
11	15	13.75	35	30	30	30	25	30	20	20
12	15	15.00	40	30	30	30	25	30	20	20
13	20	16.25	40	40	35	30	30	30	20	20
14	20	17.50	45	40	35	30	30	30	25	30
15	20	18.75	45	40	40	30	30	30	25	30
16	20	20.00	50	40	40	40	35	40	25	30
17	25	21.25	60	50	45	40	35	40	30	30
18	25	22.50	60	50	45	40	40	40	30	30
19	25	23.75	60	50	50	40	40	40	30	30
20	25	25.00	60	50	50	40	40	40	30	30
22	30	27.50	70	70	60	50	45	50	35	40
24	30	30.00	80	70	60	50	50	50	40	40
26	35	32.50	80	70	70	70	60	70	40	40
28	35	35.00	90	70	70	70	60	70	45	50
30	40	37.50	90	100	80	70	60	70	45	50
32	40	40.00	100	100	80	70	70	70	50	50
34	45	42.50	110	100	90	70	70	70	60	70
36	45	45.00	110	100	90	100	80	100	60	70
38	50	47.50	125	100	100	100	80	100	60	70
40	50	50.00	125	100	100	100	80	100	60	70
42	50	52.50	125	125	110	100	90	100	70	70
44	60	55.00	125	125	110	100	90	100	70	70
46	60	57.50	150	125	125	100	100	100	70	70
48	60	60.00	150	125	125	100	100	100	80	100
50	60	62.50	150	125	125	100	100	100	80	100
52	70	65.00	175	150	150	125	110	125	80	100
54	70	67.50	175	150	150	125	110	125	90	100
56	70	70.00	175	150	150	125	125	125	90	100
58	70	72.50	175	150	150	125	125	125	90	100
60	80	75.00	200	150	150	125	125	125	90	100
62	80	77.50	200	175	175	125	125	125	100	100
64	80	80.00	200	175	175	150	150	150	100	100
66	80	82.50	200	175	175	150	150	150	100	100
68	90	85.00	225	175	175	150	150	150	110	125
70	90	87.50	225	175	175	150	150	150	110	125
72	90	90.00	225	200	200	150	150	150	110	125
74	90	92.50	225	200	200	150	150	150	125	125

• Véase nota al final de la tabla.

TABLA 9

(Tabla 430-146 del Código NE)

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE (O SOBRECARGA) DE MOTORES

(Continuación)

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)		(6)		(7)	
Capacidad o calibración máxima admisible de dispositivos para proteger ramales de circuitos										
Corriente a plena carga del motor, amp	Para protección de motores en marcha		Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. De pleno voltaje, arranque por resistencia o reactor, letras del Código de F a V		Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. Arranque a pleno voltaje, por resistencia o por reactor, letras del Código de B a E. Para arranque por autotransformador, letras F a V		Con marca de letras del Código Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, letras del Código de B a E		Con marca de letras del Código Todos los motores con la letra A del Código	
	Corriente máxima de asignación para dispositivos de protección, no ajustables, amp		Ajuste máximo de los dispositivos de protección regulables, amp		Sin letras del Código Igual que en los anteriores		Sin letras del Código (No más de 30 amp). Con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*		Sin letras del Código (Más de 30 amp) Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*	
					Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)
76	100	95.00	250	200	200	175	175	125	125	
78	100	97.50	250	200	200	175	175	125	125	
80	100	100.00	250	200	200	175	175	125	125	
82	110	102.50	250	225	225	175	175	125	125	
84	110	105.00	250	225	225	175	175	150	150	
86	110	107.50	300	225	225	175	175	150	150	
88	110	110.00	300	225	225	200	200	150	150	

TABLA 9
(Tabla 430-146 del Código NE)

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE (O SOBRECARGA) DE MOTORES

(Continuación)

90	110	112.50	300	225	225	200	200	200	150	150
92	125	115.00	300	250	250	200	200	200	150	150
94	125	117.50	300	250	250	200	200	200	150	150
96	125	120.00	300	250	250	200	200	200	150	150
98	125	122.50	300	250	250	200	200	200	150	150
100	125	125.00	300	250	250	200	200	200	150	150
105	150	131.50	350	300	300	225	225	225	175	175
110	150	137.50	350	300	300	225	225	225	175	175
115	150	144.00	350	300	300	250	250	250	175	175
120	150	150.00	400	300	300	250	250	250	200	200
125	175	156.50	400	350	350	250	250	250	200	200
130	175	162.50	400	350	350	300	300	300	200	200
135	175	169.00	450	350	350	300	300	300	225	225
140	175	175.00	450	350	350	300	300	300	225	225
145	200	181.50	450	400	400	300	300	300	225	225
150	200	187.50	450	400	400	300	300	300	225	225
155	200	194.00	500	400	400	350	350	350	250	250
160	200	200.00	500	400	400	350	350	350	250	250
165	225	206.00	500	500	450	350	350	350	250	250
170	225	213.00	500	500	450	350	350	350	300	300
175	225	219.00	600	500	450	350	350	350	300	300
180	225	225.00	600	500	450	400	400	400	300	300
185	250	231.00	600	500	500	400	400	400	300	300
190	250	238.00	600	500	500	400	400	400	300	300
195	250	244.00	600	500	500	400	400	400	300	300
200	250	250.00	600	500	500	400	400	400	300	300
210	250	263.00	800	600	600	500	450	500	350	350
220	300	275.00	800	600	600	500	450	500	350	350
230	300	288.00	800	600	600	500	500	500	350	350
240	300	300.00	800	600	600	500	500	500	400	400
250	300	313.00	800	700	800	500	500	500	400	400
260	350	325.00	800	700	800	600	600	600	400	400
270	350	338.00	1,000	700	800	600	600	600	450	500
280	350	350.00	1,000	700	800	600	600	600	450	500
290	350	363.00	1,000	800	800	600	600	600	450	500
300	400	375.00	1,000	800	800	600	600	600	450	500
320	400	400.00	1,000	800	800	700	800	700	500	500
340	450	425.00	1,200	...	1,000	700	800	700	600	600
360	450	450.00	1,200	...	1,000	800	800	800	600	600
380	500	475.00	1,200	...	1,000	800	800	800	600	600

* Véase nota al final de la tabla.

TABLA 9

(Tabla 430-146 del Código NE)

PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE (O SOBRECARGA) DE MOTORES

(Continuación)

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)		(6)		(7)	
			Capacidad o calibración máxima admisible de dispositivos para proteger ramales de circuitos							
Corriente a plena carga del motor, amp	Para protección de motores en marcha	Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. De pleno voltaje, arranque por resistencia o reactor, letras del Código de F a V		Con marca de letras del Código Monofásicos, con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos. Arranque a pleno voltaje, por resistencia o por reactor, letras del Código de B a E. Para arranque por autotransformador, letras F a V		Con marca de letras del Código Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, letras del Código de B a E		Con marca de letras del Código Todos los motores con la letra A del Código		
		Sin letras del Código Igual que en los anteriores		Sin letras del Código (No más de 30 amp). Con embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*		Sin letras del Código (Más de 30 amp) Embobinado de jaula de ardilla y sincrónicos, arranque por medio de autotransformador, embobinado de jaula de ardilla de alta reactancia*		Sin letras del Código De corriente directa y de rotores embobinados		
	Corriente máxima de asignación para dispositivos de protección no ajustables, amp	Ajuste máximo de dispositivos de protección regulables, amp	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)	Fusibles	Interruptores automáticos (disparadores no ajustables de protección contra sobrecarga)
400	500	500.00	1,200	...	1,000	800	800	800	600	600
420	600	525.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	700
440	600	550.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	700
460	600	575.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	700
480	600	600.00	1,600	...	1,200	...	1,000	...	800	800
500	...	625.00	1,600	...	1,600	...	1,000	...	800	800

* Los motores con embobinado en forma de jaula de ardilla de alta reactancia son aquellos diseñados especialmente para auto-limitar la corriente de arranque por medio de circuitos inducidos en ranuras profundas o por embobinado doble del inducido y se arrancan, generalmente, a pleno voltaje.

- = 2 para corriente directa de 3 hilos o corriente alterna monofásica.
- = 3 para circuitos de 4 hilos S....
- E = Voltaje entre los hilos de fase y el hilo neutro; de no existir éste, se tomará el voltaje entre 2 alambres.
- I = Corriente en cualquier hilo excepto el neutro, en amperes que el alambre sea capaz de conducir.

LINEAS DE ALIMENTACION PARA MOTORES

Con base a la demanda máxima de carga de servicio, éste puede ser calculado:

$$\text{Amperaje de Servicio} = (1.25 \times I_f) + (f_D \times I_T)$$

I_f = Corriente a plena carga del motor más grande.

f_D = Factores de demanda.

I_T = Suma las corrientes a plena carga, exceptuando el motor más grande.

CALCULOS BASICOS SOBRE LA CAIDA DE VOLTAJE EN CONDUCTORES

(Despreciando la inductancia).

$$V = \frac{2R \times L \times I}{d^2} = 2R \times L \times I$$

$$d^2 = \frac{2R \times I \times L}{V}$$

V = Caída de voltaje en el circuito en volts.

R = Resistencia del conductor por ft. de longitud ohms/ft.

I = Corriente en el conductor (Amp.)

L = Longitud del circuito en ft.

CIRCUITOS TRIFASICOS BALANCEADOS DE 4 HILOS

(Despreciando la inductancia).

Para cargas de alumbrado: la caída de tensión de un conductor extremo y el neutro equivale a la mitad de la caída de voltaje calculada con la fórmula anterior.

Para carga consistente en motores, la caída de voltaje entre un par de conductores extremos equivale a la caída determinada por la fórmula del circuito multiplicada por 0.866.

L = Longitud sencilla del circuito en ft.

d^2 = Area de la sección transversal de un conductor en - -
m plg cir.

k = Resistencia específica del material conductor en - -
m plg cir - ohm/ft.

k = 12 circuitos cuya carga excede 50% de su capacidad con
ductiva admisible.

k = 11 para circuitos cuya carga es menos del 50%.

k = 18 para circuitos de aluminio.

CALCULOS DE LAS CAIDAS DE TENSION INCLUYENDO LA REACTANCIA DE LOS - CONDUCTORES

Cuando una corriente fluye a través de un conductor en el que la reactancia originada por la autoinducción es despreciable, la -
caída del voltaje es igual al producto de la corriente (amp) por la

resistencia total del conductor en ohms. Pero cuando la reactancia del conductor no puede ser despreciada, la caída de tensión es igual al producto de la corriente en amperes por la impedancia total del hilo que está dado por:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Z = Impedancia en ohms.

R = Resistencia total del conductor en ohms C.A.

X = Reactancia del hilo conductor en ohms.

$$V = I \times Z$$

Los datos sobre las resistencias y las reactancias de los diferentes tipos de alambres y cables son suministrados por los fabricantes en la literatura técnica que publican.

CONDUCTORES EN DUCTOS

El número máximo de conductores permitidos en cada ducto de los tamaños de tubo conduit o tubo metálico especial para instalaciones eléctricas, basándose en alambres del mismo calibre que se utilizan para cualquier aplicación se dan en la tabla 10. Si han de utilizarse conductores de diferentes calibres para su instalación en un solo tubo, los datos relativos a la ocupación permitida de superficie de tubo por los conductores para instalaciones nuevas o de realambrado se dan a conocer en las tablas 11 y 12. También se indica el área total transversal ocupada por un grupo de alambres y la relación entre los conductores y el ducto.

TABLA 10

(Tabla 1 del Cap. 9 del Código NE)

NUMERO MAXIMO ADMISIBLE DE HILOS EN TUBO

CONDUIT DE MEDIDAS COMERCIALES

Calibre AWG o MCM	Número máximo de conductores en tubo conduit o ductos (Basados en % de área ocupada por los conductores, Tabla 3, Cap. 9 para trabajo nuevo)											
	1½ plg	¾ plg	1 plg	1¼ plg	1½ plg	2 plg	2½ plg	3 plg	3½ plg	4 plg	5 plg	6 plg
18	7	12	20	35	49	80	115	176				
16	6	10	17	30	41	68	98	150				
14	4	6	10	18	25	41	58	90	121	155		
12	3	5	8	15	21	34	50	76	103	132	208	
10	1	4	7	13	17	29	41	64	86	110	173	
8	1	3	4	7	10	17	25	38	52	67	105	152
6	1	1	3	4	6	10	15	23	32	41	64	93
4	1	1	1	3*	5	8	12	18	24	31	49	72
3	...	1	1	3	4	7	10	16	21	28	44	63
2	...	1	1	3	3	6	9	14	19	24	38	55
1	...	1	1	1	3	4	7	10	14	18	29	42
0	...	...	1	1	2	4	6	9	12	16	25	37
00.	...	...	1	1	1	3	5	8	11	14	22	32
000	...	...	1	1	1	3	4	7	9	12	19	27
0000	...	...	...	1	1	2	3	6	8	10	16	23
250	...	...	...	1	1	1	3	5	6	8	13	19
300	...	...	...	1	1	1	3	4	5	7	11	16
350	...	...	...	1	1	1	1	3	5	6	10	15
400	...	...	...	...	1	1	3	4	6	8	9	13
500	...	...	...	...	1	1	1	3	4	5	8	11
600	...	...	...	...	...	1	1	1	3	4	6	9
700	...	...	...	...	...	1	1	1	3	3	6	8
750	...	...	...	...	...	1	1	1	3	3	5	8
800	...	...	...	...	...	1	1	1	2	3	5	7
900	...	...	...	...	...	1	1	1	1	3	4	7
1,000	...	...	...	...	...	1	1	1	1	3	4	6
1,250	...	...	...	...	...	...	1	1	1	1	3	5
1,500	...	...	...	...	...	...	...	1	1	1	3	4
1,750	...	...	...	...	...	...	...	1	1	1	2	4
2,000	...	...	...	...	...	...	...	1	1	1	1	3

* En donde existe instalado un tubo conduit o ducto metálico para alambres eléctricos que no exceda de 50 pies de longitud y no tenga más de dos cuartos de vuelta o el equivalente de extremo a extremo, pueden instalarse dos conductores aislados y uno desnudo, todos del Núm. 4, en un diámetro de 1 plg.

TABLA 11
 (Tabla 3 del Cap. 9 del Código NE)
 COMBINACION DE ALAMBRES CONDUCTORES

Para grupos o combinaciones de alambres conductores que no se han incluido en la Tabla 1, Cap. 9, se recomienda que la suma de superficies de todos los conductores no rebase los porcentajes de la superficie de luz del tubo conduit o ducto que se indican en la tabla siguiente.

Porcentaje del área del tubo conduit

	Número de conductores				
	1	2	3	4	Más de 4
Conductores (sin forro de plomo)	53	31	43	40	40
Conductores con forro de plomo	55	30	40	38	35
Para realambrado en ductos existentes, para aumentar la carga, en donde no es posible aumentar el tamaño del ducto por las condiciones estructurales existentes	60	40	50	50	50

TABLA 11

(Tabla 4 del Cap. 9 del Código NE)

DIMENSIONES Y PORCENTAJE DEL AREA DE TUBO CONDUIT Y DE OTROS
TIPOS-PARA TRABAJOS NUEVOS

Areas de tubo conduit y de otros tipos, para la colocación de alambres combinados, permitidos según la Tabla 3, Cap. 9											
Tamaño comercial	Diámetro interior, plg	Area, plg ²									
		Total 100%	Sin forro de plomo				Con forro de plomo				
			1 conduc., 53%	2 conduc., 31%	3 conduc., 43%	4 conduc., y más, 40%	1 conduc., 55%	2 conduc., 30%	3 conduc., 40%	4 conduc., 38%	Más de 4 conduc. 35%
$\frac{1}{2}$	0.622	0.30	0.16	0.09	0.13	0.12	0.17	0.09	0.12	0.11	0.11
$\frac{3}{4}$	0.824	0.53	0.28	0.16	0.23	0.21	0.29	0.16	0.21	0.20	0.19
1	1.049	0.86	0.46	0.27	0.37	0.34	0.47	0.26	0.34	0.33	0.30
$1\frac{1}{4}$	1.380	1.50	0.80	0.47	0.65	0.60	0.83	0.45	0.60	0.57	0.53
$1\frac{1}{2}$	1.610	2.04	1.08	0.63	0.88	0.82	1.12	0.61	0.82	0.78	0.71
2	2.067	3.36	1.78	1.04	1.44	1.34	1.85	1.01	1.34	1.28	1.18
$2\frac{1}{2}$	2.469	4.79	2.54	1.48	2.06	1.92	2.63	1.44	1.92	1.82	1.68
3	3.068	7.38	3.91	2.29	3.17	2.95	4.06	2.21	2.95	2.80	2.58
$3\frac{1}{2}$	3.548	9.90	5.25	3.07	4.20	3.96	5.44	2.97	3.96	3.76	3.47
4	4.026	12.72	6.74	3.94	5.47	5.09	7.00	3.82	5.09	4.83	4.45
5	5.047	20.00	10.60	6.20	8.60	8.00	11.00	6.00	8.00	7.60	7.00
6	6.005	28.89	15.31	8.96	12.42	11.56	15.89	8.67	11.56	10.98	10.11

TABLA 12

(Tabla 5 del Cap. 9 del Código NE)

DIMENSIONES DE LOS ALAMBRES CON FORRO DE

HULE Y FORRO DE TERMOPLASTICO

Calibre AWG o MCM	Tipos RF-2, RFH-2, R, RH, RHH, RHW, RH-RW, RW		Tipos TF, T, THW*, TW, RU,† RUH,‡ RUW		Tipo THWN	
	Diámetro aproximado, plg	Área apro- ximada, plg ²	Diámetro aproximado, plg	Área apro- ximada, plg ²	Diámetro aproximado, plg	Área apro- ximada, plg ²
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
18	0.146	0.0167	0.106	0.0088		
16	0.158	0.0196	0.118	0.0109		
14	$\frac{3}{64}$ in. 0.171	0.0230	0.131	0.0135	0.105	0.0087
14	$\frac{3}{64}$ in. 0.204‡	0.0327‡				
14	.....	.....	0.162*	0.0206*		
12	$\frac{2}{64}$ in. 0.188	0.0278	0.148	0.0172	0.122	0.0117
12	$\frac{3}{64}$ in. 0.221‡	0.0384‡				
12	.....	.....	0.170*	0.0251*		
10	.....	0.0460	0.168	0.0224	0.153	0.0184
10	.....	0.242	0.199*	0.0311*		
8	.....	0.0760	0.228	0.0408	0.201	0.0317
8	.....	.....	0.259*	0.0526*		
6	0.397	0.1238	0.323	0.0819	0.257	0.0519
4	0.452	0.1605	0.372	0.1087	0.328	0.0845
3	0.481	0.1817	0.401	0.1263	0.356	0.0995
2	0.513	0.2067	0.433	0.1473	0.388	0.1182
1	0.588	0.2715	0.508	0.2027	0.450	0.1590
0	0.629	0.3107	0.549	0.2367	0.491	0.1893
00	0.675	0.3578	0.595	0.2781	0.537	0.2265
000	0.727	0.4151	0.647	0.3288	0.588	0.2715
0000	0.785	0.4840	0.705	0.3904	0.646	0.3278
250	0.868	0.5917	0.788	0.4877	0.716	0.4026
300	0.933	0.6837	0.843	0.5581	0.771	0.4669
350	0.985	0.7620	0.895	0.6291	0.822	0.5307
400	1.032	0.8365	0.942	0.6969	0.869	0.5931
500	1.119	0.9834	1.029	0.8316	0.955	0.7163
600	1.233	1.1940	1.143	1.0261		
700	1.304	1.3355	1.214	1.1575		
750	1.339	1.4082	1.249	1.2252		
800	1.372	1.4784	1.282	1.2908		
900	1.435	1.6173	1.345	1.4208		
1,000	1.494	1.7531	1.404	1.5482		
1,250	1.676	2.2062	1.577	1.9532		
1,500	1.801	2.5475	1.702	2.2748		
1,750	1.916	2.8895	1.817	2.5930		
2,000	2.021	3.2079	1.922	2.9013		

* Dimensiones del alambre THW en los calibres Núms. 14 al 18. El alambre tipo THW del Núm. 6 y más grande, tiene las mismas dimensiones que las del alambre tipo T.

Del Núm. 18 al 8, alambre sólido; del Núm. 6 en adelante, trenzado.

Las dimensiones de los conductores con forro de hule de la columna 3 de esta tabla se emplearán para calcular los diámetros del tubo conduit o tubos de instalaciones nuevas para combinaciones que no aparecen en la Tabla 1 del Cap. 9. Para realambros ductos ya existentes, se aplicarán los valores de las columnas 5 o 7.

† Del Núm. 14 al Núm. 2.

‡ Las dimensiones de los alambres de los tipos RW y RHH. También se usan estas dimensiones para trabajos nuevos, para calcular los diámetros de tubo conduit o tubos de otro tipo para la combinación de alambres que no aparecen en la Tabla 1 del Cap. 9.

CONEXIONES A TIERRA DE SISTEMAS ELECTRICOS

La conexión correcta a tierra en el sistema de distribución eléctrica en una planta industrial es un factor de máxima importancia para la seguridad del personal y del equipo eléctrico de la planta. En la actualidad se han establecido reglas definidas para la conexión correcta a tierra de los sistemas y de los equipos, y una vez que se ha tomado la decisión de efectuar las conexiones a tierra, deben seguirse las reglas estrictamente para asegurar una operación correcta.

Partiendo del punto de vista de la seguridad para la planta industrial y para su personal; todo el sistema eléctrico y el equipo relacionado con el mismo tiene que estar debidamente conectado a tierra. Sin embargo, desde el punto de vista del proceso industrial en cuestión, la demanda de continuidad en el servicio de energía eléctrica para mantener el ritmo de la producción puede imponer la necesidad de que el sistema eléctrico permanezca aislado de tierra.

Mediante la presentación de las razones básicas para la conexión o no conexión a tierra y planteando el desarrollo de las prácticas y métodos para la conexión a tierra de los equipos y sistemas de distribución eléctrica, se expondrá el desarrollo para ejecutar una conexión a tierra adecuada para el sistema en cargo.

CONEXION A TIERRA DEL SISTEMA

Definiciones:

a) Sin conexión a tierra.

Significa que no se ha hecho ninguna conexión intencional a tierra excepto por medio de mediciones de potencial o dispositivos de indicación.

Tal como se entiende esta definición para un sistema de distribución de energía eléctrica, quiere decir que no existe conexión intencional alguna entre el hilo neutro ni alguna de las fases y tierra. El potencial de tensión que existe entre alguno de los conductores y la tierra está determinado por la distribución de la capacitancia de los conductores y la tierra.

En un sistema trifásico con cargas razonablemente balanceadas en las 3 fases. El polo neutro del sistema tiene un potencial de tensión casi igual al de la tierra, mientras que los 3 conductores de las fases tienen aproximadamente el mismo potencial que ésta.

b) Conectado a tierra.

Denota una conexión directa e intencional a tierra diferente de las conexiones para mediciones de potencial o dispositivos indicadores.

Un sistema de energía eléctrica con conexión a tierra, es aquel en el que por lo menos uno de los conductores o algún punto del sistema ha sido conectado intencionalmente a tierra, ya sea en forma firme y directa o a través de algún dispositivo limitador de corriente.

En un sistema de corriente trifásica el punto de conexión a tierra puede ser uno de los conductores de las fases, el polo neutro de un transformador o generador, o el punto neutro de algún dispositivo instalado a propósito para crear un punto neutro para la conexión de tierra, tal como un transformador especial para conexión a tierra.

En los sistemas monofásicos y en ciertas condiciones de las instalaciones trifásicas el punto de conexión a tierra es generalmente un hilo central o el punto central del embobinado de un transformador.

El grado de efectividad de la conexión a tierra es un detalle de mucha importancia para determinar las características del sistema conectado a tierra.

El término sólidamente conectado a tierra tiene poca significación en sí, salvo que se trata de una conexión firme y directa, sin la interferencia de dispositivos que limitan el flujo de la corriente como resistencias, transformadores o reactores.

Conexión efectiva a tierra es un término que se ha introducido para definir las condiciones de un sistema que ha sido conectado en forma adecuada y que satisface determinadas especificaciones concretas con respecto a voltajes y corrientes dentro de condiciones anormales y que se define como:

Se dice que un sistema de distribución de energía eléctrica o parte del mismo está conectado a tierra en forma efectiva, cuando -

en todos sus puntos o en alguna parte de sus secciones específicas, la relación entre la reactancia de secuencia nula y la de secuencia positiva no es mayor que 3 y la relación entre la reactancia de secuencia nula y la de secuencia positiva no es mayor de uno en cualquier condición de operación y con cualquier capacidad de carga conectada al generador.

SISTEMAS SIN CONEXION A TIERRA

Un análisis histórico revela que un alto porcentaje en plantas industriales, los sistemas de distribución de energía eléctrica han sido instalados sin conexión a tierra. La primera razón de este hecho es que si se produce un contacto accidental entre una fase y tierra no se necesita interrumpir el servicio para arreglar el desperfecto. El único efecto que produce un contacto de esta naturaleza es el cambio de voltaje entre fases y tierra que así diferirán de sus valores normales y salvo que este cambio de voltajes pueda dar origen a la destrucción del aislamiento en algún otro punto del sistema no se ocasionará un daño particular de inmediato.

En empresas en donde tiene importancia máxima la continuidad del servicio eléctrico, el sistema sin conexión a tierra ofrece una solución aunque tiene que tomarse en cuenta sus limitaciones.

LOCALIZACION DE FALLAS

En los sistemas que carecen de conexión a tierra se usa algún dispositivo que indica una fuga a tierra en alguno de los conductores de las fases.

Estos dispositivos o aparatos operan en función del voltaje - entre las fases y tierra en el sistema. No obstante que estos dispositivos señalan la presencia de una conexión a tierra, no indican sin embargo, su posición en el sistema. En consecuencia, antes de proceder a la reparación, es preciso aislar el circuito o la parte del equipo en donde se ha presentado la fuga.

Si solamente es una fase la que hace tierra en el sistema, la falla puede ser localizada dejando fuera de servicio una por una las líneas alimentadoras o los circuitos. Cuando la línea que tiene la fuga queda fuera de servicio, el dispositivo que marca la tierra volverá a funcionar con normalidad, señalando así la posición del defecto.

Si en cualquiera de las líneas de fase existen varios defectos de conexión a tierra, la localización de los mismos se hará bastante complicada especialmente si los defectos se encuentran en diferentes hilos de la alimentación. En estos casos los defectos pueden ser localizados desconectando todos los servicios del circuito, para reconectarlos uno por uno. Cada vez que se conecte una sección con fuga a tierra el aparato detector lo indicará.

Una alternativa para la localización de fugas a tierra en un sistema que opera sin conexión a ella, consiste en un circuito interrumpido de corriente continua que se toma de cualquier fuente de corriente directa de bajo voltaje. La corriente directa se aplica al conductor y se presenta la falla y la tierra para localizar la -

fuga. El potencial de la corriente tiene que ser bajo, para limi -
tar el flujo de esta corriente a una magnitud insignificante. Este
método tiene la ventaja de no esperar a que la carga de la planta -
pueda ser interrumpida y de localizar la fuga de inmediato una vez -
que se ha notado su aparición.

Una fuga a tierra en un sistema no conectado a ésta, aumenta -
el voltaje entre las fases sin fuga y la tierra arriba de la ten -
sión que normalmente prevalece entre estos elementos. De esta for -
ma, el aislamiento de las fases es sometido a un voltaje mayor del -
normal, y entre más tiempo perdure esta condición, más fácilmente -
se presentará una segunda fuga a tierra en otra de las fases. Los -
sistemas sin conexión a tierra quedan completamente expuestos, por -
que la falla de una o probablemente de dos de las fases de alimenta -
ción conducen a sobre cargas que pueden ocasionar serios daños a -
las dos líneas de suministro sobre todo a las defectuosas. Para ob -
tener el mejor servicio de operación posible en un sistema sin co -
nexión a tierra debe procurarse un mantenimiento correcto de las -
instalaciones tomando las medidas adecuadas para la localización de
fugas a tierra inmediatamente después de que aparezcan.

SISTEMAS CON CONEXION A TIERRA

Desde el punto de vista de la seguridad para el personal de -
la planta y el equipo todos los sistemas de distribución de energía
eléctrica deberían estar conectados a tierra. El único argumento -
que justifica que no exista esta conexión es el de la continuidad -

de servicios, pero los métodos modernos de planeación de sistemas eléctricos permiten el diseño de instalaciones con conexión a tierra, cuya continuidad de servicio se acerca mucho a la de los sistemas aislados a tierra. Esta conexión proporciona:

Seguridad

Si el operario tiene conocimiento de que un circuito está conectado a tierra, esto lo inducirá a tener más cuidado cuando trabaja en las líneas. Los datos dicen que se producen menos accidentes de choques eléctricos en circuitos conectados a tierra.

Estos sistemas tienen menor peligro de incendio que los no conectados a tierra. Esto se debe a que un conductor que sufre una fuga a tierra pierda su energía, mientras que en las instalaciones que carecen de esta conexión, al presentarse fallas en dos puntos diferentes y entre fases opuestas pueden ocasionar una corriente de tierra que suele ser insuficiente para disparar los dispositivos de seguridad, pero capaz de tener la intensidad necesaria para producir un incendio si fluye a través de material combustible.

El máximo de seguridad se obtiene conectando el hilo neutro del sistema a tierra, a una parrilla de tierra, o a dispositivos de tierra sepultados. Todos los elementos de conducción no aislados como tubos conduit y otros tipos de tubería deben ser conectados sólidamente con los mismos dispositivos a tierra.

El propósito de evitar potenciales altos de tensión en estas secciones es eliminar el peligro de choques y la formación de arcos

y chispas eléctricas.

MÉTODOS DE CONEXIÓN A TIERRA

En la mayoría de las instalaciones la unión a tierra se efectúa conectando el hilo neutro del sistema, en uno o varios puntos a tierra.

En la práctica se han aceptado 4 métodos generalizados.

1. Conexión sólida a tierra

Este es un método de conexión directa del punto neutro del generador, transformador o polo neutro en cualquier sistema, sin intervención alguna de dispositivos de impedancia entre el neutro y la conexión a tierra. La impedancia existente entre el sistema y la tierra, es solo la propia del generador o transformador, cuyo punto neutro se conecta a tierra, y la efectividad de la conexión se mide por la capacidad del transformador o generador respecto del sistema. Esta conexión debe ser lo suficientemente efectiva como para producir una corriente de falla entre las líneas y la tierra, equivalente por lo menos al 25% de la corriente trifásica.

2. Conexión a tierra a través de resistencias

En este método el punto neutro se conecta a través de resistencias en uno o más puntos, con el fin de limitar la magnitud de la corriente de falla a un valor relativamente bajo, y de tal manera intensa que sea suficiente para detectar y eliminar fugas

a tierra. El tamaño de las resistencias se elige de tal forma que las fugas se mantengan entre 5 - 20% de la corriente de falla trifásica.

Las características de la conexión a tierra a través de resistencias evitan la presencia de sobre voltajes pasajeros y la corriente de fugas por falla es por lo común de la misma magnitud, independientemente del lugar de la falla en el sistema. Esto último simplifica mucho el problema de la relevación del sistema, en comparación con el anterior.

Las ventajas de este tipo de conexión son:

- a) Reduce los efectos que ocasiona el quemado o fusión del equipo eléctrico dañado como: dispositivos de distribución, cables, y máquinas rotatorias.
 - b) Reduce los efectos de esfuerzos mecánicos en los circuitos que conducen corrientes de falla.
 - c) Reducen los peligros de choques eléctricos al personal ocasionados por corrientes vagabundas o dispersas, procedentes de fallas a tierra.
 - d) Reducir la caída momentánea de voltaje en las que puede ser ocasionada por la súbita presencia o eliminación de fugas a tierra.
3. Conexión a tierra a través de reactancias

En este método se intercala un reactor entre el punto o hilo neutro del sistema y la tierra. La magnitud de esta reactancia determina el grado de efectividad con el que se ha conectado el

hilo o punto neutro del sistema a la tierra y esta efectividad debe ser del orden de 25% de la corriente de falla trifásica por lo menos.

4. Conexión a tierra a través de neutralizador

Este es un método que no se emplea frecuentemente en instalaciones industriales. En principio se trata de un reactor sintonizable que se intercala entre el polo neutro del sistema y que está sintonizado de tal manera que su reactancia equivale a la capacitancia del sistema con tierra. Este es un circuito sintonizado o de resonancia en serie; al ocurrir una falla de fuga a tierra, las corrientes capacitivas e inductivas se cancelan virtualmente una con otra y dejan solo un componente muy pequeño de corriente de resistencia que fluye a través de la vía de fuga.

El neutralizador de fallas a tierra, está provisto de diferentes tomas de graduación ajustable para cambiar su reactancia, y tiene que ser mantenido en sintonización razonable con el sistema para que la acción compensante tenga éxito completo.

MÉTODOS DE CONEXION A TIERRA SUGERIDOS

Con la experiencia se han ido desarrollando métodos confiables de conexión a tierra, bien definidos y aplicables a los sistemas industriales de distribución eléctrica que están basados en el voltaje de operación.

SISTEMAS DE BAJO VOLTAJE

Los sistemas con tensión menor de 600 volts son conectados a tierra en forma directa. Este es un método sumamente barato pues no se requieren dispositivos neutros.

La razón básica para la conexión directa radica, sin embargo, en que los dispositivos de protección contra fallas de tierra empleados en estos circuitos son casi siempre del tipo de relevadores de disparo de conexión en serie y se requieren fuertes corrientes de fuga para operarlos. La conexión sólida o directa se hace necesaria para desarrollar estas corrientes altas. Es también necesario que la ruta de retorno de la corriente de fuga tenga una resistencia baja.

SISTEMAS DE VOLTAJE MEDIO

Consideraremos a estos sistemas entre 2.4 - 15 kv. Se conectan a tierra generalmente a través de resistencias, porque en la planta industrial común se desea limitar la magnitud de la corriente de fuga. Sin embargo, en estos sistemas chicos en los que las corrientes de fuga por falla son reducidas, se aplican las conexiones a tierra a través de reactivancias o se hacen en forma directa.

El tamaño de la resistencia para el polo neutro debe seleccionarse de tal modo, que proporcione corriente de intensidad suficiente para el accionamiento de relevadores, y al mismo tiempo para limitar la magnitud de la corriente a tal grado que los daños que pudieran ocasionarse en el punto de falla queden restringidos.

SISTEMAS DE ALTO VOLTAJE

Los sistemas que se operan con voltajes arriba de 15 kv, se conectan directamente a tierra en forma casi universal. En esta forma quedan protegidos a menos costo y con mayor efectividad contra la aparición de flamaos, ya que estos sistemas no son conducidos en interiores de edificios. Su conexión a tierra es tratada en forma diferente al de instalaciones de bajo voltaje.

La tabla 13 nos muestra la magnitud aproximada de la corriente de la fase individual a tierra originada por fallas como una función de la corriente de falla trifásica, que tiene íntima relación con cada uno de los métodos de conexión a tierra. Si las corrientes de falla son mantenidas dentro de los límites prescritos, se eliminarán o por lo menos se reducirán las posibilidades de formación de sobre voltajes pasajeros y se logrará satisfacer los propósitos para los que fué diseñado el método de conexión a tierra.

1. Sistema de conexión efectiva a tierra usándose conexión directa o reactancia

60% o mayor

2. Sistemas con conexión no efectiva a tierra pero de conexión directa o por medio de reactancia

25% o mayor

3. Conexiones a tierra mediante resistencias

Normalmente 5 - 20%

EN DONDE DEBE EFECTUARSE LA CONEXION A TIERRA

TABLA 13

CALIBRES DE LOS CONDUCTORES A TIERRA PARA TUBO CONDUIT,
FORROS METALICOS DE CABLES, CABLE ARMADO Y OTROS DUCTOS
METALICOS O CUBIERTAS DE PROTECCION PARA CONDUCTORES Y EQUIPO

Asignación de capacidad o ajuste de dispositivos protectores contra sobrecorriente en el circuito, adelante del equipo, tubo conduit, etc., que no exceden de (amp)	Calibre del conductor a tierra			
	Alambre de cobre Núm.	Tubo conduit o tubo común, plg	Tubo metálico especial para instalaciones eléctricas	Alambre de aluminio* Núm.
20	8	1/2	1/2	6
30	8	1/2	1/2	6
40	8	1/2	1/2	6
60	8	1/2	1/2	6
100	8	1/2	1/2	6
200	6	1/2	1	4
400	4	3/4	1 1/4	2
600	2	3/4	1 1/4	1/0
800	1/0	1	2	3/0
1,000	2/0	1	2	4/0
1,200	3/0	1	2	250 Mm plg cir

* Los conductores de aluminio para conexión a tierra no se pueden instalar en contacto directo con muros y con el suelo o en sitios en donde puedan quedar expuestos a condiciones corrosivas. Si se instalan a la intemperie, no pueden colocarse a una altura menor de 46 cm (18 plg) sobre el suelo.

TABLA 14

TABLA DE FACTORES DE MULTIPLICACIÓN

$\frac{R}{X}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
Factor	1.8	1.56	1.44	1.34	1.25	1.19	1.15	1.12	1.10	1.07	1.06	1.05	1.04

Para lograr las ventajas de conexión a tierra, del punto neutro tienen que unirse a tierra todos los puntos neutros del voltaje y todos los posibles puntos de fuerza del sistema. También se tendrá en cuenta que en aquellas instalaciones en las que operan diferentes secciones separadas, se deberán unir a tierra cada una de estas en el punto conveniente y la conexión deberá mantenerse efectiva en todo momento.

Es preferible que la conexión a tierra se haga en la fuente de fuerza y no en los puntos de carga; ya que aunque sean unidas a tierra varias unidades de la carga, es posible que sean más tarde desconectadas, si se aísla el sistema de su conexión a tierra. En cambio si es la fuente de suministro la conectada a tierra, esta conexión se hará notar en cuanto haya fuerza disponible. La unión a tierra en la fuente misma de suministro, es preferible también, ya que la corriente que produce una falla tiene el mismo sentido de flujo que la corriente originada por una falla de fase.

CONEXION A TIERRA DE EQUIPOS

MOTIVOS DE CONEXION A TIERRA

Los principales objetivos que se persiguen son los de seguridad para el personal, asegurándose de que en las estructuras de acero, bastidores de maquinaria, carcazas de equipos electromecánicos- y cualquier otra clase de equipos metálicos que encierran circuitos eléctricos mantengan el mismo potencial de tensión que en tierra en todo momento. El contacto accidental entre un cuerpo metálico no -

conectado a tierra y un circuito eléctrico, eleva el potencial de este cuerpo al mismo que tiene el sistema o circuito con tierra. Si el cuerpo corresponde al bastidor de una máquina, a la caja de un interruptor o a cualquier elemento estructural, éste se convertirá en un serio peligro al ser tocado por alguna persona.

Una conexión intencional directa y bien ejecutada entre tierra y estos elementos metálicos ocasionará un fuerte flujo de corriente que hará funcionar a elementos detectores, delatando el contacto del circuito eléctrico con el cuerpo metálico, con lo cual se harán funcionar interruptores de circuito para aislar el peligro en el sistema.

Es por lo tanto necesario que todos estos elementos metálicos estén conectados a tierra en forma permanente y efectiva a través de elementos de unión de baja impedancia con suficiente capacidad conductiva de corriente.

EQUIPOS QUE DEBEN SER CONECTADOS A TIERRA

En una planta industrial característicamente representativa, se incluye la conexión a tierra del siguiente equipo:

Estructuras, subestaciones de intemperie, cuartos grandes para la instalación de generadores y motores, ductos para alambres o cables conductores, motores diversos y equipo portátil.

CONEXION A TIERRA PARA ELECTRICIDAD ESTATICA Y RAYOS

ELECTRICIDAD ESTATICA

La acumulación de este tipo de cargas en los equipos, materiales e inclusive en el personal, constituyen un serio peligro en la industria. Una descarga de electricidad estática en la inmediata cercanía de materiales inflamables o explosivos, o en ambientes de estas características, pueden dar origen a explosiones o incendios. Esta clase de accidentes es la causa de muchas pérdidas de vida y de grandes cantidades de dinero.

En todas las instalaciones deben practicarse exámenes minuciosos para determinar si las cargas estáticas pueden significar un peligro en potencia, ya que la simple conexión a tierra no es necesariamente la solución del problema.

CAUSAS DE LA FORMACION DE CARGAS ESTATICAS

Básicamente una carga estática se forma por la diferencia de potencial entre dos cuerpos o sustancias. Cuando se juntan dos materiales distintos y uno de los dos es aislante, se establece una carga estática y al separar dichos materiales puede sobrevenir una descarga estática.

Las condiciones que ejercen influencia sobre la magnitud de la carga son las características propias de los materiales, la velocidad de separación, el movimiento relativo de las sustancias entre sí, el área de contacto y las condiciones atmosféricas. Pueden desarrollarse voltajes extremadamente grandes y puede ocasionar la energía suficiente para ocasionar la ignición de mezclas combustibles o explosivas.

Los métodos para determinar la existencia de electricidad estática son bastante sencillos. En caso de presentarse algún problema dudoso hay que consultar un tratado completo sobre esta materia.

En caso de que la simple conexión a tierra no solucione el problema de la formación de cargas estáticas, se dan algunas soluciones al problema:

1. En sitios en los que el exceso de humedad no afecta a los procesos o materiales, el control de las cargas estáticas ocasionadas por atmósferas secas se controlan elevando la humedad relativa del ambiente por arriba de 60%.
2. Peines o barras metálicas de oropel unidos a tierra pueden ser efectivos para eliminar estos tipos de carga en ciertos materiales.
3. El recubrimiento o impregnación de ciertos materiales, particularmente bandas es un medio efectivo de control de electricidad estática en muchas condiciones.

RAYOS

El flujo de corrientes que proceden de la caída de rayos sobre objetos o edificios pueden causar daños importantes como consecuencia del calor y de los esfuerzos mecánicos.

La protección de las estructuras contra los efectos de la caída de rayos, se basa en la colocación de un medio de conducción de baja resistencia que desvíe la descarga viva directamente a tierra.

Las estructuras de metal con conexión a tierra se autoprotegen por lo general. En otros casos, los cables de pararrayos en o alrededor de la estructura proporcionan una protección confiable casi siempre.

Un sistema de pararrayos consiste en varias terminales colocadas arriba de la estructura que ha de protegerse, y un sistema de conductores de interconexión y de unión a tierra.

Debe tenderse una red de cables conductores a tierra de baja resistencia, colocados a distancias regulares alrededor de la estructura a la que deben proteger.

La protección de subestaciones y líneas de transmisión de alta tensión es un problema complejo y se recomienda consultar la literatura especializada, para tener una guía de orientación adecuada.

PROTECCION CON RELEVADORES ELECTRICOS

Todo sistema eléctrico debe estar protegido mediante uno o va
rios sistemas que sean prácticos, sin embargo, para que un sistema-
quede protegido completamente, se tendrían que usar protecciones so
bre protecciones; ya que éstas también estén sujetas a fallas, úni-
camente se puede llegar a los límites establecidos por los relevadores
generalizados que se fabrican en forma normal.

Las características esenciales de un sistema eléctrico que -
pueden ser alteradas al suceder una falla en el mismo son: voltaje,
corriente, frecuencia, fase, polaridad, potencia, factor de poten-
cia, etc.

Los relevadores tienen la propiedad de detectar según su diseño
una o varias de estas características y deberán mantenerse inac-
tivos, mientras éstas no varían. Su forma de operar es la siguien-
te:

Al ocurrir la falla, el relevador detecta y selecciona la ca-
racterística del sistema correspondiente y actúa sobre otro sistema
cerrando o abriendo algún contacto que pertenezca al circuito de -
apertura o cierre del interruptor que corresponda para el aislamien-
to de la falla de la parte del sistema donde se creó.

Existe un elemento intermedio entre los relevadores y el sis-
tema por proteger, se trata de los transformadores de instrumento,-
(transformadores de corriente y de potencial); la existencia de és-
tos es debido a los altos voltajes y a las elevadas corrientes de -

los sistemas que haya que proteger, no siendo práctico ni económico que los relevadores fuesen diseñados para esas condiciones de operación. Con el fin de normalizar el voltaje y la corriente de los relevadores se ha llegado a establecer un voltaje de 120 volts para los elementos de potencial y 5 amperes para los elementos de corriente de estos aparatos protectores.

DESCRIPCION GENERAL DE RELEVADORES ELECTRICOS

Un relevador eléctrico es un dispositivo que colocado en un circuito eléctrico, produce cambios en otro o en su propio circuito. Un relevador sencillo consta de una bobina y un contacto conectados tal como se observa en la Fig. 19.

Tal como observamos del circuito a proteger se reciben las señales que pueden ser una sobrecorriente; el relevador hace cerrar el contacto que pertenece a un circuito distinto, el cual se utiliza para abrir el interruptor que se encuentra en la entrada de la línea.

Ahora bien, solo hay dos principios fundamentales en los que se basa la operación de los relevadores, siendo estos:

- a) Atracción electromagnética.
- b) Inducción electromagnética.

El primero consiste en un vástago dentro de un solenoide o una pieza magnética atraída por un electroimán.

El segundo está basado en la acción de dos fuerzas magnéticas defasadas.

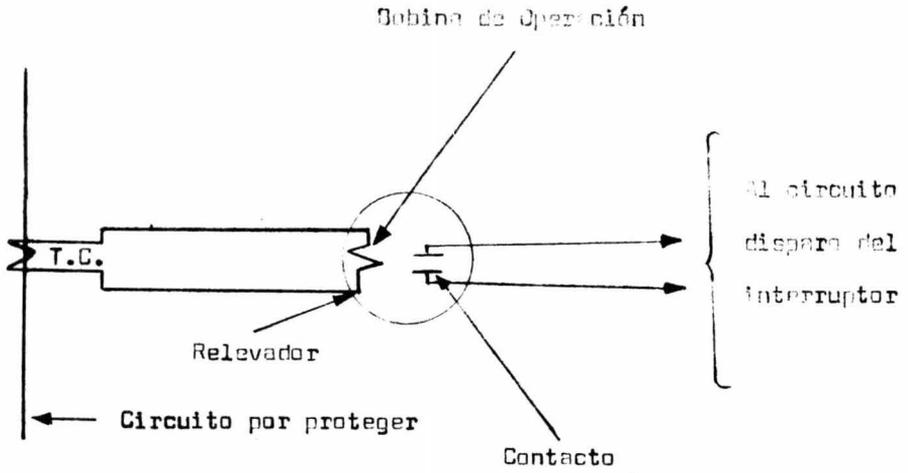


Fig. 19

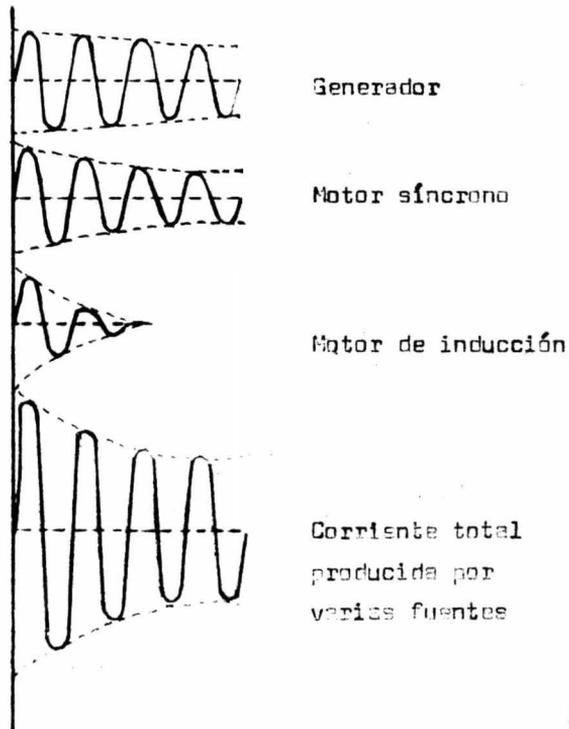


Fig. 20

A continuación haremos mención de las principales características de los relevadores, una de las más importantes es el tiempo de operación, esta propiedad ha contribuido al desarrollo tan am - plio de la protección con relevadores, puesto que se ha podido lo - grar una coordinación perfecta en tiempo de apertura de los inte - rruptores, de tal forma que aísla las regiones afectadas por fallas para la mejor operación del sistema.

La sensibilidad de un relevador es la propiedad que tiene de detectar las fallas que puedan dañar la buena operación del sistema.

La seguridad en su operación es una característica, ya que no puede permitirse que el relevador falle en el momento preciso.

Finalmente diremos que los relevadores no son para evitar fallas en el sistema, sino para hacer operar los mecanismos que hagan disminuir los efectos de las fallas cuando éstas aparezcan.

PROTECCION DE LOS ALTERNADORES

Mencionaremos primeramente cuales son las partes que constituyen un alternador.

1. Rotor

Donde son alojadas las bobinas por las que circula corriente - continua y que crea el campo magnético giratorio al ser acciona - do por el motor.

2. Estator

Circula por su devanado la corriente producida por inducción, -

dicho devanado se conecta a la red a donde se envía la corriente eléctrica.

La parte más delicada de los alternadores son los aislamientos, puesto que éstos están sometidos a esfuerzos mecánicos y eléctricos.

Entre las fallas más susceptibles en los devanados del estator y el rotor tenemos:

1. Rotor

- Falla a tierra sobre el devanado de excitación.
- Apertura accidental del devanado de excitación.

2. Estator

- Corto circuito entre fases (dos o más fases) o de fase a tierra.
- Corto circuito entre espiras de una misma bobina.
- Sobretensiones.
- Sobrecargas.
- Desequilibrio de cargas.

PROTECCION DE TRANSFORMADORES

Los transformadores por ser una "máquina estática" tiene menos problemas que un generador puesto que prácticamente no existen esfuerzos mecánicos.

Sin embargo, deberá estar protegido de fallas externas e internas:

Fallas externas.

- Corto circuitos.
- Sobretensiones por fallas del sistema.
- Sobrecargas.
- Sobretensiones de origen atmosférico.

Fallas internas.

- Corto circuitos entre espiras o a tierra.
- Fallas entre espiras y núcleo magnético.
- Rotura de bobinas.

Protección contra sobrecorriente.

Tipos fundamentales de protección.

1. Fusibles.
2. Aparatos con disparo de acción directa.
3. Relevadores.

1. Fusibles.

Elementos limitadores de corriente que operan térmicamente, combinando las funciones de detección de fallas e interrupción de circuitos.

2. Aparatos con disparo de acción directa.

Estos aparatos son aquellos en que el interruptor es accionado por medio de un mecanismo, cuando la corriente alcanza valores predeterminados. Los aparatos pueden ser operados por:

- a) Una armadura atraída por la fuerza electromagnética, creada por la corriente que circula a través de una bobina de disparo.

b) Un elemento bimetálico actuado por el calor generado por la corriente de falla.

A este tipo de aparatos pertenecen los interruptores termomagnéticos y los interruptores electromagnéticos.

3. Relevadores.

Son dispositivos que provocan un cambio brusco en uno o más circuitos eléctricos de control, cuando la cantidad o cantidades - medidas a las cuales responde, cambian de una manera predeterminada.

Para poder obtener una protección eficiente, es necesario tener en cuenta:

- a) Seguridad.
- b) Selectividad.
- c) Rapidéz.
- d) Simplicidad.
- e) Economía.

TIPO DE RELEVADORES

a) Relevador de protección:

Su función es detectar fallas o sobrecargas en líneas o aparatos, o bien otro tipo de condiciones indeseables, así como incitar o permitir una apropiada desconexión al dar una adecuada señal de alarma.

b) Relevador auxiliar:

Se utiliza para asistir en el desarrollo de sus funciones a los relevadores de protección.

Se agrupan en tres clasificaciones generales:

1. Energizar circuitos de control múltiple.
2. Proporcionar la capacidad de los contactos para circuitos - de control que necesitan corrientes de mayor intensidad que las que pueden manejarse con seguridad.
3. Proporcionar flexibilidad a los arreglos de los contactos.

c) Relevador regulador:

Su función es detectar la función no deseada de la cantidad medida o variable controlada, y restaurar la cantidad dentro de los límites deseados o establecidos con anterioridad.

d) Relevador verificador:

Su función tal como su nombre lo indica es verificar las condiciones del sistema de fuerza con respecto a los límites prescritos.

La operación de los relevadores, independientemente de su tipo son:

1. Correcta y deseada.
2. Correcta pero indeseada.
3. Disparo incorrecto.
4. No dispara.

IV. CORTOCIRCUITO

Las corrientes de cortocircuito que se originan en los sistemas eléctricos son alimentadas por elementos activos: generadores, motores, etc., y se limitan por elementos pasivos del sistema: impedir impedancia de conductores.

La principal fuente suministradora de la corriente de corto - circuito son los generadores. En este generador la corriente es li - mitada por sus reactancias, siendo éstas:

Reactancia subtransitoria.

Es la reactancia aparente del estator en el instante en que se pro - duce el cortocircuito y determina la corriente que circula en el de - vanado del estator durante los primeros ciclos mientras dure el cor - tocircuito.

Reactancia transitoria.

Es la reactancia inicial aparente del devanado del estator, conside - rándose únicamente los efectos del arrollamiento del campo inductor.

Esta reactancia es la que determina la intensidad que circula durante el intervalo al que se indicó anteriormente. La reactancia-transitoria hace sentir sus efectos durante 1.5 seg. o más, depen - diendo de la construcción de la máquina.

Reactancia síncrona.

Es la reactancia que determina la intensidad que circula cuando se ha - llegado a un estado estacionario. Hace sentir sus efectos des -

pués de transcurrir algunos segundos desde el instante en que se ha producido el cortocircuito, por tal razón carece de valor en cálculos de cortocircuito relacionados con la operación de interruptores, fusibles y contactores.

Ahora bien, un motor síncrono tiene la misma clase de reactancias que un generador, aunque de diferente valor. Los motores de inducción no tienen arrollamientos inductores de campo, pero las barras del rotor actúan como los arrollamientos amortiguadores en un generador, en consecuencia, estos motores se consideran únicamente con reactancias subtransitorias.

El hecho de asignar estas tres reactancias en las máquinas rotatorias es con el fin de simplificar el método para determinar las corrientes de cortocircuito suministradas en instantes fijos.

RELACION DE CORTOS CIRCUITOS DE GENERADORES

Este factor es utilizado con frecuencia al tratar problemas de corto circuito en instalaciones de alta tensión. De acuerdo a los actuales procedimientos para el cálculo de corto circuito de la AIEE se ha transformado en un dato sin importancia, sin embargo, es necesario mencionar este dato en las especificaciones para un alternador.

$$\text{Relación de corto circuito} = \frac{\text{Intensidad de campo para producir tensión nominal en condiciones de corto circuito permanente}}{\text{Intensidad de campo para producir corriente nominal en condiciones de corto circuito permanente}}$$

CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO TOTAL

La corriente de corto circuito simétrica puede estar formada de dos o tres fuentes. (Fig. 20).

Las fuentes que la constituyen son:

- a) Generadores - Instalados en la planta o la red o bien ambos.
- b) Motores de Inducción - Colocados en instalaciones industriales.
- c) Motores y Condensadores síncronos.

Ya que estas corrientes disminuyen con el tiempo debido a la reducción del flujo en la máquina, después de efectuarse el corto circuito la corriente total disminuye también, siendo por tanto la intensidad mayor en el primer medio ciclo, teniendo valores menores unos ciclos después. Es notorio observar que la componente correspondiente al motor de inducción desaparece después de dos ciclos completos.

Ahora bien, la componente de corriente continua aumenta la magnitud durante los primeros ciclos (Ver Fig. 21), y puesto que esta componente decae también con el tiempo, el efecto de la corriente de corto circuito varía también paralelamente. Como esta componente sigue decayendo al paso del tiempo se acentúa una diferencia de magnitud entre las corrientes que corresponden al primer ciclo con respecto a las siguientes.

Aprovechando que la intensidad varía con el tiempo, así como la corriente de corto circuito varía paralelamente, el procedimiento de cálculo de las corrientes de corto circuito.

Se ha simplificado tanto que para obtener la intensidad simé-

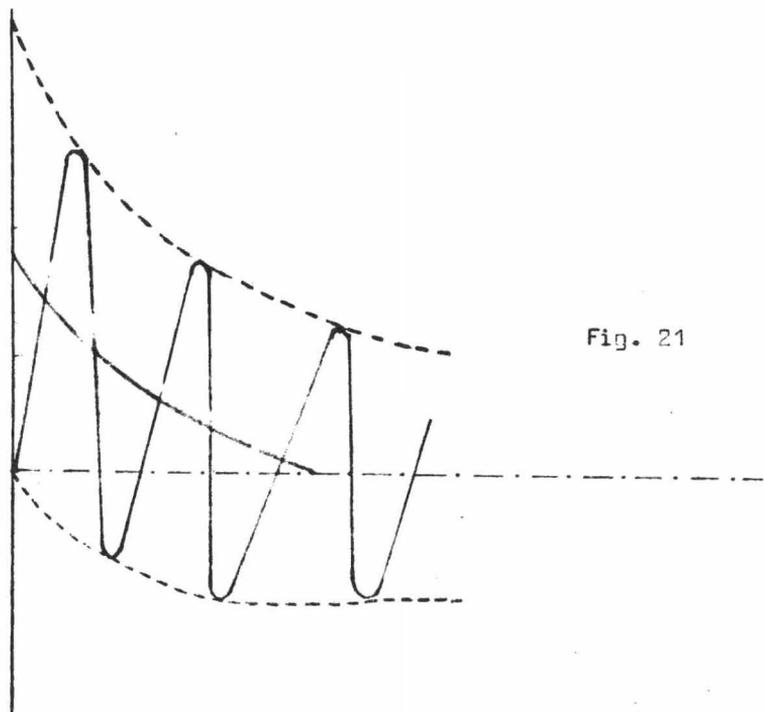


Fig. 21

Corriente de corto circuito asimétrica proveniente
de todas las fuentes más la componente continua

trica eficaz se necesita únicamente dividir la tensión entre línea y neutro, entre la impedancia correspondiente. La corriente de corto circuito asimétrica se obtiene multiplicando el valor correspondiente de la corriente simétrica por un factor de multiplicación* - adecuado.

METODOS DE CALCULO DE CORTO CIRCUITO

a) Diagrama unifilar.

Para iniciar el estudio de un corto circuito es necesario tener primeramente el diagrama unifilar de la instalación, mostrando éste la conexión de todas las fuentes de las corrientes de corto circuito, tal como: generadores, motores de inducción, conexiones de la red pública, cables, etc.

b) Diagrama de reactancias o impedancias.

En segundo lugar se debe preparar el diagrama de impedancias o reactancias que puedan influir en el cálculo. En instalaciones de alta tensión se denomina Diagrama de Impedancias, con lo que se acepta que la resistencia es despreciable en relación con la reactancia.

Los elementos del circuito dependerán de: la tensión del circuito que se necesita verificar, el régimen instantáneo de trabajo de los interruptores que se necesiten comprobar, la resistencia dinámica y térmica de la instalación, etc.

* Este se explicará más adelante.

c) Selección del tipo y localización del corto circuito.

Generalmente en los sistemas industriales se obtiene la máxima corriente de corto circuito al producirse una falla trifásica. Puesto que la magnitud de corriente de corto circuito es mayor que cuando se produce una falla entre fase y neutro o entre dos fases. Debido a lo anterior expresado la selección de dispositivos de protección en la mayoría de las plantas industriales se hace calculando un corto circuito trifásico.

Sin embargo, en sistemas de plantas muy grandes de alta tensión en las cuales el neutro generalmente está conectado directamente a tierra, se presenta la corriente máxima de corto circuito cuando hay una falla entre una fase y tierra. En estos casos la alimentación proviene de un transformador delta-estrella con conexión a tierra o bien directamente de los generadores de la central o de la casa de máquinas, produciéndose una corriente mayor que la que se producirá en el caso de una falla trifásica. Si el corto circuito se lleva a cabo entre fase y neutro, la corriente de corto circuito dependerá de la forma en que se conecte el neutro.

Generalmente los neutros de los generadores o transformadores en delta-estrella están conectados a tierra con el fin de que la corriente de corto circuito sea inferior a la producida por una falla trifásica. Pudiéndose por tal motivo calcular únicamente la falla trifásica.

El cálculo de la corriente de corto circuito monofásico única - mente es necesaria en grandes sistemas de alta tensión (2,400 - volts o más) con neutro directo a tierra en el generador o bien cuando los transformadores principales que suministran la energía a la industria están conectados en delta en el lado de alta tensión (línea) y en estrella con neutro directo a tierra en el lado de baja tensión.

El mejor método para calcular las corrientes desequilibradas de falla en grandes sistemas de energía es el de "componentes simétricas", sin embargo, la necesidad de realizar este tipo de cálculos no se presenta comunmente en instalaciones industriales.

d) Localización del corto circuito.

La ubicación del corto circuito en una instalación depende únicamente del fin perseguido o sea interrumpir la corriente máxima de corto circuito al producirse la falla, por lo tanto es so lo necesario considerar ésta en una posición (sobre las terminales) para verificar el régimen de trabajo del interruptor o fusible.

SELECCION DE LAS REACTANCIAS Y LAS RESISTENCIAS DE LAS MAQUINAS

CIRCUITOS Y EQUIPOS

1) Reactancia

La influencia de la reactancia en determinados elementos del sistema depende de la tensión de la red en que se produce el corto circuito. Debe usarse en todos los casos la de los generadores

motores y transformadores.

En sistemas cuyo voltaje no sea mayor de 600 volts, son tan bajas las reactancias que podrán eliminarse sin cometer un error apreciable. En las de más de 600 volts si es necesario, considerar las reactancias de los transformadores de corriente, interruptores de aire, tramos de barra, etc.

En los sistemas de más de 1500 kva sobre barras de alrededor de 240 volts, así como también las de más de 3000 kva a una tensión de 480 ó 600 volts se deben considerar las reactancias de los elementos arriba mencionados.

Es interesante citar que a menor tensión más elevada será la pequeña impedancia para limitar la magnitud de la corriente de corto circuito, de tal forma que hay que poner todo el cuidado en incluir el total de elementos en el diagrama de impedancias especialmente a una tensión de 240 volts, ya que si no se tiene este cuidado se encontrará un valor más elevado, teniendo como consecuencia la selección de un tablero de maniobra de baja tensión con un régimen de interrupción más elevado, y por ende más costoso.

2) Resistencia

La resistencia de los generadores, transformadores, reactores, motores y barras de gran capacidad (> de 1000 amperes), así como la resistencia de todos los otros elementos del circuito de alta tensión (> de 600 volts) se desprecian generalmente, ya que no tienen influencia en las corrientes de corto circuito.

Sin embargo, es importante considerar la resistencia de los circuitos de cable, pues constituyen la parte predominante de la impedancia. En sistemas de redes secundarias con tensiones de 600 volts o menores deben incluirse en el diagrama de impedancias, la resistencia y la reactancia de los cables de los circuitos de interconexión entre barras colectoras de la subestación.

3) Factor de multiplicación

Este factor es la relación entre la reactancia y la resistencia, teniendo un valor de 1.25 en la mayoría de los casos para estudios en instalaciones industriales. Tabla 14.

METODOS DE CALCULO DE CORTO CIRCUITO

Existen varios métodos para su cálculo en las instalaciones eléctricas, mencionaremos los más comunes:

- a) El método de las componentes simétricas (método exacto).
- b) El método por medio de determinantes.
- c) El método de las potencias (aproximado).
- d) El método de caída porcentual (aproximado).
- e) El método analógico.

METODOS APROXIMADOS

Los sistemas eléctricos de generación y transformación están constituidos generalmente por fuentes de energía y líneas de distribución y transmisión que se encuentran acopladas por medio de trans

formadores y por tanto operan a diferentes voltajes nominales.

Con el fin de efectuar los cálculos de corto circuito en tales sistemas, es necesario transformar el sistema original a otro equivalente en el cual las impedancias de todas las máquinas y líneas queden expresadas en ohms referidos a una base común de voltaje o bien en porcentaje referido a una base común en kva.

METODO OHMICO

(ohms sobre una base común en kva)

Se trata de obtener una falla en la cual todas las impedancias estén referidas a una misma base con el fin de efectuar todas las combinaciones y reducciones necesarias para llegar a representar todo el sistema por medio de una impedancia única equivalente entre la fuente y la falla.

O sea que hay que determinar una impedancia Z_2 que pueda ser usada con un voltaje arbitrariamente seleccionado V_2 , de tal manera que tome la misma potencia en kva que cuando la impedancia Z_1 se use en el voltaje real V_1 .

$$\text{Cond. fundamental } V_2 Z_2 = V_1 Z_1$$

METODO EN PORCENTAJE

Es el método normal para cálculo de corto circuitos en sistemas eléctricos, ya que generalmente las impedancias de las máquinas vienen expresadas en porcentaje.

El porcentaje de reactancia se define como el porcentaje de - voltaje nominal que es consumido por la caída de voltaje en la reactancia cuando circula la corriente nominal, es decir:

$$\% \text{ reactancia} = \frac{I_n \times \text{ohms}}{V_n} \times 100$$

Donde:

I_n = intensidad nominal

V_n = voltaje nominal

Empleando la misma definición, el porcentaje de resistencia - será:

$$\% \text{ de resistencia} = \frac{I_n \times \text{ohms}}{V_n} \times 100$$

En este caso utilizaremos una potencia de kva como base común en lugar de un voltaje base, obteniendo

$$Z_2 = \frac{\text{kva base}}{\text{kva}_1} \times Z_1$$

kva_1 = kva nominales (base 1)

Z_2 = impedancia referida a la base 2

Para un sistema de tres fases:

$$I_1 = \frac{100 \times \text{kva base 2}}{\sqrt{3} Z \text{ eq. kv}}$$

En los cálculos de corto circuito se llega a un momento en - que hay que decidir si se deben utilizar ohms por ciento o bien ohms por unidad, la relación entre éstos queda:

$$\text{Reactancia \%} = \frac{\text{reactancia en ohms} \times \text{potencia base}}{\text{kv}^2 \times 10}$$

$$\text{Reactancia por unidad} = \frac{\text{reactancia en ohms} \times \text{potencia base en kva}}{\text{kv}^2 \times 1000}$$

$$\text{Reactancia por unidad} = \frac{\text{reactancia en \%} \times \text{kv}^2 \times 10}{\text{kva base}}$$

$$\text{Reactancia por unidad} = \frac{\text{reactancia en \%}}{100}$$

Los kva base pueden ser el generador o transformador de alimentación como base. En sistemas mayores es más fácil elegir una potencia base de 1000, 10000 ó 100000 kva.

Una vez que es elegida la potencia base, es necesario convertir las reactancias ohmicas de los cables, conductores, transformadores de instrumento, etc., en reactancias en porcentaje por unidad (la unidad es con respecto a la base elegida), si se emplean ohms - se deben convertir todas las reactancias en porcentaje a valores en ohms.

Ahora bien, la reactancia de generadores, transformadores y motores están generalmente expresadas en porcentaje de su propio régimen en kva, por lo cual sus reactancias se deben convertir a una base común, tal como sigue:

$$\text{Reactancia en porcentaje a la base 2} = \frac{\text{kva base 2}}{\text{kva base 1}} \times \text{reactancia en \% a la base 1}$$

Si la reactancia del sistema se expresa en porcentaje sobre una base determinada, solo será necesario convertir este valor a la base común empleada en el diagrama de impedancias. En ocasiones - las compañías suministradoras de energía proporcionan la potencia-

en kva de corto circuito en la intensidad que el sistema puede en -
tregar en el lugar, en otros casos únicamente se conoce la capacidad
de interrupción del interruptor de la línea de llegada.

En estos casos operamos de la siguiente forma, si tenemos la
potencia de corto circuito en kva.

$$\text{Reactancia en \%} = \frac{\text{kva base del diagrama de reactancias} \times 100}{\text{potencia en kva de corto circuito del sistema}}$$

Si se dá como dato la corriente de corto circuito:

$$\text{Reactancia en \%} = \frac{\text{kva base del diagrama de reactancias} \times 100}{I \text{ corto circuito} \sqrt{3} \text{ kv nominales del sistema}}$$

Si se conoce el régimen de interrupción en kva del interrup -
tor de entrada:

$$\text{Reactancia en \%} = \frac{\text{kva base del diagrama de reactancias} \times 100}{\text{régimen de interrupción del interruptor en kva}}$$

La corriente de corto circuito simétrica se puede obtener por
medio de fórmulas diversas, tales como:

$$I \text{ c. circuito} = \frac{100 \text{ kva base}}{\% \times \sqrt{3} \text{ kv}}$$

$$I \text{ c. circuito} = \frac{\text{kva base}}{\text{x p. unid.} \sqrt{3} \text{ kv}}$$

$$I \text{ c. circuito} = \frac{\text{kv} \times 1000}{\sqrt{3} \times \text{reactancia en ohms}}$$

La potencia simétrica de corto circuito en kva se obtiene de-
forma semejante.

$$\text{Potencia c. circuito (kva)} = \frac{100}{\% \times} * \text{kva base}$$

$$\text{Potencia c. circuito (kva)} = \frac{\text{kva base}}{\text{x por unid.}}$$

$$\text{Potencia c. circuito (kva)} = \frac{3 (\text{voltajes entre línea y neutro})^2}{\text{reactancia en ohms} \times 1000}$$

La fórmula que se escoja dependerá de la manera en que se -
halla elegido el diagrama de reactancias o impedancias, así como la
forma en que se desee obtener el resultado.

METODO POR UNIDAD

Este método constituye un medio de expresar los números en -
tal forma que facilite su comparación.

Un valor por unidad está dado por:

$$\text{Por unidad} = \frac{\text{un número}}{\text{un número base}}$$

Al número base se le llama también valor unitario; puesto que
en el sistema por unidad equivale precisamente a la unidad, por lo-
tanto a la tensión de base se le llama también tensión unidad. Co-
mo número base se puede elegir cualquiera que resulte conveniente.

El sistema por unidad puede representarse simbólicamente por-
el signo.

V. TIPOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Dentro de las diferentes estructuras de los sistemas de dis - tribución se han aceptado en forma común tres tipos generales que son:

- a) El radial simple.
- b) La red secundaria de distribución.
- c) Sistema secundario selectivo o radial con seccionadores.

a) SISTEMA RADIAL SIMPLE

Este es el sistema de distribución menos costoso. En la Fig. - 22 se representa un diagrama del sistema llamado "Radial Simple". El sistema más sencillo de tipo radial es empleado únicamente en fábricas chicas con capacidad menor de 1000 kva, y como se puede ver aquí con un sólo transformador, aún colocándolo al centro de la planta, se necesitará tender cables de bajo voltaje en distancias sumamente largas, por lo cual este sistema tiene pérdidas de transmisión muy grandes. El sistema radial concentros de carga según la Fig. 22 es el sistema usado por lo general en aquellas plantas en las que se requieren cuando menos tramos de cable medianamente largos y las cargas de cresta exce den los 4000 kva.

En el sistema radial simple de distribución se instala una subestación única en la que se recibe la energía con el voltaje de suministro, transformándose aquí a la tensión de uso.

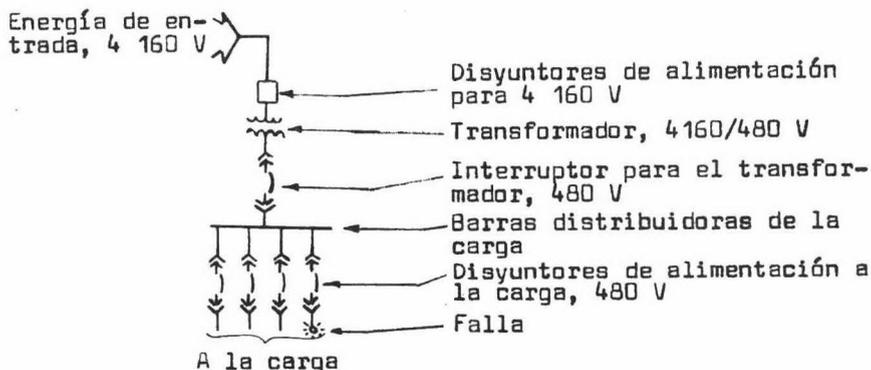
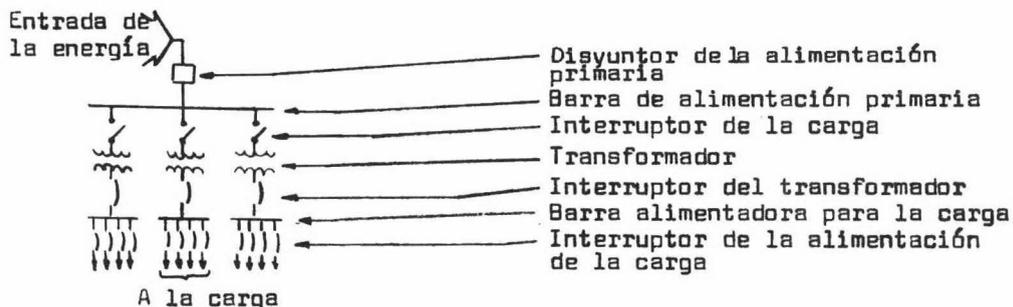


Diagrama esquemático de un circuito simple, demostrando la necesidad de la coordinación de los relevadores



Sistema de distribución radial simple, con centros de carga

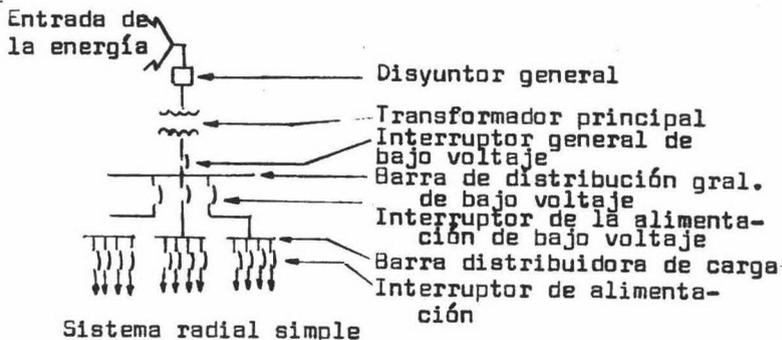
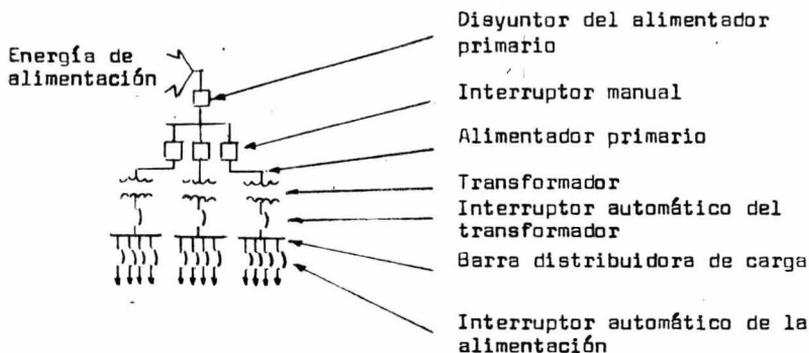
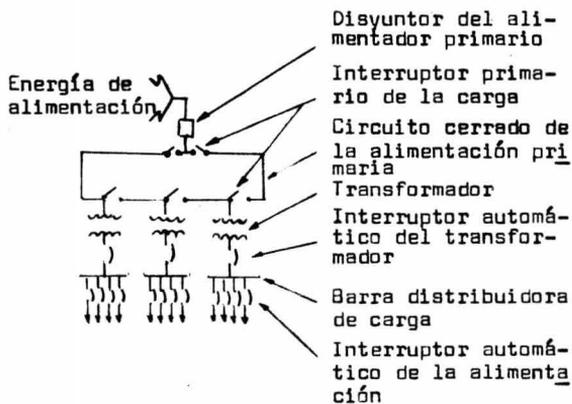


Fig. 22



Sistema radial simple, con alimentación primaria separada



Sistema simplificado con circuito primario cerrado

De esta subestación a los diferentes centros de carga de la planta, se tienden las líneas de alimentación de bajo voltaje que sean necesarias.

En los centros de carga la energía se distribuye a través de interruptores de control hacia las cargas individuales, ya sea en forma directa o por medio de tableros. En este sistema toda la carga de la planta se alimenta por una sola subestación a través de un sólo bus de barras distribuidoras de bajo voltaje. Aquí se aprovechan todas las ventajas que puede ofrecer la diversidad entre los centros de carga, para lo que se necesita el mínimo de capacidad del transformador. Por otro lado, como toda la fuerza se distribuye desde un sólo punto, la regulación del voltaje y la eficiencia son malas. El costo de las líneas que alimentan los centros de carga junto con sus interruptores de circuito, es sumamente alto excepto en fábricas muy pequeñas. Además, una falla en las barras distribuidoras o en el transformador ocasiona la interrupción general del servicio en la totalidad de las líneas de la fábrica, y una falla en una línea entre la subestación y una carga ocasionará el paro de todas las máquinas alimentadas al final de esa línea.

El sistema radial simple con centros de distribución es una versión más moderna del sistema radial simple y con él se superan muchos de los inconvenientes que se enumeraron anteriormente, mediante la distribución de la fuerza a los diferentes centros a voltajes elevados (4 a 13 k volts), en vez de emplearse los -

voltajes de trabajo (220 - 440 v). El voltaje de entrada se transforma al voltaje de trabajo por medio de una serie de transformadores de pequeña capacidad, situados en los centros de distribución (subestación unitaria).

Los transformadores de las subestaciones unitarias están generalmente conectados con las líneas de alimentación de voltaje primario a través de un interruptor de circuito, ya que en este sistema cada uno de los muchos transformadores de los centros de distribución es una unidad "independiente", debe tener cada uno de ellos la capacidad suficiente para soportar las cargas de su sector y por ese motivo se necesita más capacidad general de transformación. Por otro lado, como la fuerza es distribuida a través de la planta a un voltaje más alto (el voltaje de distribución) la pérdida de energía en los cables es mucha más baja (I^2R), requiriéndose menos cobre en la instalación, la regulación mejora considerablemente y se eliminan los enormes interruptores de alimentación de bajo voltaje. Por las razones previamente expuestas, este sistema es preferido por un amplísimo margen y es el más barato de los tipos básicos.

b) SISTEMA DE RED SECUNDARIA DE DISTRIBUCION

Es un sistema para aquellas plantas que operan a base de procesos, cuyo paro es intolerable. Su costo es 40% mayor que las anteriores instalaciones.

Se caracteriza por el hecho de que todas las subestaciones de la planta están interconectadas entre sí por medio de líneas que

habitualmente permanecen abiertas en los otros sistemas, colocadas entre las barras de los circuitos de bajo voltaje formando una malla en baja tensión. La alimentación de alto voltaje tiene la misma disposición que en los otros sistemas.

Cada una de las cargas en el sistema es alimentada por el conjunto de transformadores de forma colectiva y por este motivo la repartición de carga en los transformadores es más uniforme debido a la alta capacidad instalada en transformadores.

Este sistema puede soportar cargas súbitas, tales como el arranque de un motor pesado sin que disminuya la intensidad de una sola de las luces. Desde el punto de vista de mantenimiento, mientras el sistema cuente con un exceso razonable de capacidad en sus transformadores puede aislarse una unidad sin que esto tenga alguna influencia en el conjunto. Desde luego, si el circuito es alimentado solamente por 3 transformadores, cualquier combinación de 2 de ellos debe ser capaz de soportar el total de la carga (una carga equivalente al 150% de lo normal), suponiendo una sola contingencia. Pero si se trabaja con 4, 5 ó 6 transformadores con este sistema de enlace, la capacidad de carga de los transformadores restantes, al dejar uno fuera de operación, es realmente muy pequeña.

Cuando en este sistema se presenta una falla en los alimentadores primarios o en un transformador, la unidad defectuosa es automáticamente desconectada del sistema, al dispararse los interruptores automáticos del circuito primario y los dispositivos-

de protección de la red. Los protectores de la red pueden ser interruptores especiales al aire, controlados por relevadores - conectados al sistema de distribución. Como los relevadores de la red ejecutan la desconexión de sus respectivos interruptores, solo al establecerse un flujo del circuito secundario (BT) hacia los transformadores, se abrirán únicamente los protectores de la red ligados al transformador defectuoso. En consecuencia, la carga de la planta sigue siendo alimentada a través de las líneas alimentadoras que no han sufrido daños y que funcionan con sus transformadores correspondientes. La falla de un transformador de red interconectada no ocasionará la menor interrupción ni siquiera momentánea de ninguna de las cargas.

Este sistema tiene un punto débil, mientras la falla de cualquiera de los transformadores no le afecte notoriamente, un desperfecto en cualquiera de las dos líneas primarias de alimentación, pondrá fuera de servicio a la mitad de los transformadores. Si bien tiene una protección contra la falla de los transformadores, no tiene una protección adecuada contra la falla de la alimentación primaria. Esta situación se puede arreglar instalando un sistema selectivo primario, en donde todos los transformadores pueden ser conmutados a cualquiera de las dos líneas de alimentación primaria, ya sea en forma manual o automática, aunque en la operación normal la mitad de los transformadores recibe su corriente de una y la otra mitad de otra línea de alimentación primaria. Consecuentemente, cada una de estas líneas

VI. OPERACION ECONOMICA DE LA RED ELECTRICA

La proporción de la energía eléctrica que se utiliza para la producción de fuerza, es solo una parte del importe del comprobante mensual del consumo de energía eléctrica.

Por eso independientemente de que los factores de consumo de fuerza sean por sumas elevadas o bajas, es conveniente efectuar un estudio cuidadoso para cerciorarse de que la energía está siendo usada con eficiencia y que los desperdicios se mantienen dentro de un mínimo posible. La cuota a que es usada esta energía es también un factor sumamente importante para el monto del comprobante.

Todos los factores de consumo de energía eléctrica están basados en tarifas establecidas, en la mayoría de los casos, por las comisiones de control de servicios públicos de los diferentes estados.

Cada empresa productora de energía eléctrica tiene diferentes tarifas para cubrir toda la gama de servicios requeridos por los clientes. Estas tarifas se establecen tomando en consideración conceptos como: voltajes de suministro, cantidad de energía consumida, el período del día o de la noche en que se consume la energía y otras más.

La selección de la tarifa más adecuada para una determinada planta industrial, en términos generales, debe ser resuelta con la colaboración del departamento de ventas de la central eléctrica que ha de suministrar la energía, de esta forma la tarifa elegida será-

la más apropiada para el programa de fabricación o producción que se elaboró.

Las diferentes tarifas están basadas en el uso de energía dentro de condiciones determinadas y éstas se fijan por períodos definidos.

Por ejemplo, supongamos que una planta opera con un turno de trabajo intenso diurno, un segundo turno con mediana intensidad y un tercer turno de trabajo ligero. La central de fuerza buscará establecimiento de una tarifa que sea favorable a este tipo de operación. Si después de cierto tiempo de iniciadas las operaciones el negocio toma incremento y los dos turnos ligeros se elevaran a la intensidad del primero, significaría un aumento de la carga y mayor uniformidad en las cargas de las líneas, en cuyo caso la central de fuerza, tendrá una tarifa general más favorable para este tipo de consumo.

Haciendo caso omiso de los muchos tipos de tarifas y de los diferentes procedimientos de cálculos, todas las tarifas extendidas sobre el consumo de fuerza obedecen al mismo patrón.

Por lo común hay cuatro conceptos de cargo para formular estas facturas:

1. Demanda de fuerza.
2. Energía consumida.
3. Reajustes de costo de combustible.
4. Factor de potencia.

Los cargos por concepto de la demanda se basan en los costos de generación de fuerza y de la transmisión y distribución de la misma, de acuerdo con los medios disponibles para efectuarla. En este renglón se incluyen los cargos redituales de la inversión, agregando intereses, contribuciones, recuperación, etc.

Los cargos por concepto de energía comprenden los costos del combustible, mantenimiento y otros gastos relacionados con la operación.

A continuación se detallan cada uno de los factores mencionados.

Demanda

Los cargos por concepto de demanda se basan en el consumo máximo de fuerza del mes durante determinado período, en general de 15 a 30 min. de duración.

Este consumo es registrado por un medidor de demanda, o se le toma como un porcentaje fijo sobre las cargas bajas. La demanda podrá también afectar a la cuota de energía como se explicará posteriormente. Por consiguiente la demanda es de ordinario el factor más importante con el que se pueden obtener resultados rápidos.

Podemos explicar la demanda de la manera siguiente:

Supongamos que una fábrica produce polímero de vinilo y que el rendimiento de cada máquina (reactor) es de 10000 Kg. diarios; una orden de 300000 Kg. de polímero, requerirá de 30 reactores-

para producir ese volumen en un día, pero si esta orden se re -
parte en 10 días, la fábrica podrá trabajar con sólo 3 reacto -
res.

El valor de la inversión representado por los reactores tiene -
que incluirse en el costo de elaboración del producto (polímero
de vinilo).

Si puede convercense al comprador a que espere más tiempo para-
recibir su pedido, se le podrá dar un precio más reducido, ya -
que si se reducen los gastos generales se reduce el costo por -
unidad.

Lo mismo sucede con el caso de la fuerza eléctrica, solo que en
este renglón no le queda a la central de fuerza ninguna alternau
tiva, por lo siguiente: en una fábrica, el hacer funcionar el -
interruptor debe haber fuerza suficiente para encender el alum-
brado, o las líneas de suministro deben tener la fuerza sufi -
ciente para el arranque del equipo respectivo. Por lo general-
no se pretende que todas las luces prendan a la vez, y lo mismo
ocurre en el caso de los diferentes equipos en la fábrica. Pe-
ro si el consumidor así lo desea, podrá conectar todo el equipo
al servicio.

Por tal motivo, la central eléctrica necesita tener a su dispo-
sición todo el equipo necesario para sostener esta carga de conu
tinuo durante las 24 horas del día. Pero la central no solo dá
servicio a una fábrica sino a cientos de ellas, de manera que -
está obligada a mantener disponible en todo tiempo una vasta -

reserva de fuerza.

El costo para el mantenimiento de estos servicios, que exigen - un máximo de esfuerzo, se les pasa a los usuarios en forma de - **CARGOS DE DEMANDA.** Entre más alta sea la demanda de fuerza en un momento dado por un período de 15 minutos, más alto será tam- bién el cargo por demanda. Por lo que entre más uniformemente- esté repartido el consumo de fuerza en una planta, más bajo será el cargo de demanda y más baja será proporcionalmente la factu- ra del consumo total.

Las tarifas se fijan en general para períodos de 15 a 30 min. y no propiamente por demanda momentánea. Como los equipos de ge- neración y distribución están diseñados para resistir esfuerzos sostenidos que provienen de una carga en particular, tienen la- suficiente capacidad para satisfacer demandas máximas dentro de límites razonables sin necesidad de refuerzos. Sin embargo, en algunos casos tienen que ser reforzados los elementos de servi- cio para cubrir demandas instantáneas, y cuando esto sucede se- emplean otros medios para la determinación de las cargas de de- manda. Esto ocurre de modo especial en lugares donde se utili- zan cantidades grandes de fuerza para la ejecución de pruebas.

Cargos por energía

Los costos de operación de la porción de la factura de consumo- de fuerza eléctrica, se base en el número de kw-hr registrados- en el término de cierto tiempo, normalmente 1 ó 2 meses. Para- establecer comparaciones entre las facturas, hay que tomar en -

consideración este período de facturación.

El número de días de trabajo y el número de los días cubiertos por la factura tendrán diferencias, pues el consumo de fuerza es medido ya sea en el circuito primario, tomándose en cuenta el voltaje de entrada, en cuyo caso las pérdidas del transformador quedan incluidas en la factura; o se miden en el circuito secundario en donde las citadas pérdidas son absorbidas por la central eléctrica.

En el caso de la medición en el circuito primario, se otorgará un descuento por parte de la central de fuerza o se recurre a otro convenio para hacerse cargo del valor de las pérdidas. Para grandes cantidades de fuerza o donde la entrada se efectúa en alto voltaje, se ofrecen tarifas más moderadas por lo general.

Como prácticamente todos los sistemas de evaluación de tarifas incluyen 2 ó más etapas de cargos por concepto de energía, el número de kw-hr de cada etapa se fija en una lista predeterminada de cuotas.

REAJUSTES SOBRE EL COSTO DE COMBUSTIBLE

Estos cargos se relacionan con la compensación por fluctuaciones en los precios de los combustibles, arriba o abajo de determinado precio que se toma como base al establecer las tarifas originales.

Se establecerá una cláusula sobre el reajuste del costo de -

combustible ya que resultaría impracticable modificar las tarifas - cada vez que hubiera una fluctuación en el precio del combustible.

FACTORES DE POTENCIA

El término factor de potencia puede elevar el monto de las - facturas de consumo y sus efectos se hacen sentir en otros aspectos en el sistema de distribución de energía eléctrica a través de toda la planta. El factor es un número que expresa una relación y puede explicarse de la siguiente manera:

La fuerza es el producto de la corriente que fluye en un cir- cuito y del voltaje sostenido en el mismo, es decir, que es el resul- tado de la multiplicación de amperes por volts. Sin embargo, en - los circuitos de corriente alterna, el amperaje requerido por los - motores de inducción, transformadores, alumbrado fluoerecente, hor- nos de inducción, soldadoras por resistencia, etc.; está formado - por dos clases de corriente: la corriente magnetizante y la corrien- te que desarrolla el trabajo.

La corriente que se transforma en trabajo es aquella que de - sarrolla el trabajo útil por la acción del equipo como por ejemplo: la rotación de un motor, la ejecución de un cordón de soldadura o - el bombeo de agua. La unidad de medida usual es el kw.

La corriente magnetizante (conocida también como corriente - desvaviada o reactiva) es aquella que se requiere para producir el - flujo magnético necesario para la operación de aparatos de induc - ción como los anteriormente mencionados. Sin la corriente de magne

tización no habrá flujo de energía a través del núcleo de un transformador ni a través del entrehierro de un motor de inducción.

La unidad para la medición de esta fuerza es el kv-ampere reactivo (kvar).

El factor de potencia se expresa como la relación entre la corriente productora de fuerza y la corriente productora de fuerza y la corriente total del circuito.

$$F.P. = \frac{Kw}{Kva}; Kw = Kva \times fp$$

Las facturas de consumo de fuerza se basan en las mediciones de la demanda y en los kwhr de energía.

De la fórmula anterior se desprende que para enviar cierta cantidad de fuerza a un consumidor, la central tendrá que transmitir una corriente mayor hacia un sistema que tenga un factor de potencia bajo, que hacia otro cuyo factor de potencia sea más alto. El valor de la corriente adicional no es registrado por el wattómetro que registra la entrada de fuerza al sistema del consumidor y por lo tanto representa una pérdida para la central eléctrica. Esta condición exige también la instalación de cables más gruesos y los transformadores, generadores y otros equipos, cuyas características se basan en su capacidad para conducir corriente, tendrán que ser de mayor tamaño.

En atención a la necesidad de compensar el monto de la mayor inversión que se necesita para atender la demanda de cargas con - -

F.P. bajo las centrales de fuerza han introducido la cláusula del factor de potencia para las facturas de consumo de energía. En estas cláusulas se ofrece una reducción en las cuotas de consumo para cargas con factor de potencia altos o también se imponen cuotas a manera de multas si el factor de potencia es bajo. Pero el resultado real es que se aplican cargos extra si el factor de potencia está por abajo del 85% en la mayoría de los casos.

TIPOS DE CLAUSULAS PARA EL FACTOR DE POTENCIA

Existe una extensa gama de cláusulas sobre el factor de potencia, que abarca toda una serie de los más variados aspectos.

En ella se aplican bonificaciones y multas en condiciones y formas diferentes. A continuación damos a conocer unos cuantos de los tipos más comunes de estas cláusulas:

1. Facturación de la Demanda, dependiente del factor de potencia verdadero.

Ejemplo:

Demanda de 1000 kw.

F.P. verdadero 70%.

F.P. básico requerido 85%.

Cargo de \$1.5 por kw de demanda.

$$\text{Facturación de demanda} = 1000 \times \frac{85}{75} = 1213 \text{ kw}$$

$$\text{Costo } 1213 \times 1.5 = 1819.5$$

Mejoramiento del factor de potencia a su valor de base 85%.

$$\text{Costo de } 1000 \times 1.5 \text{ kw} \quad \frac{1500}{3319.3}$$

2. Igual al ejemplo 1 - pero con carga adicional de energía por kw-hr que depende de la demanda facturable.

Ejemplo:

Consumo total de energía 550000 kwhr.

Tarifa 1.2 ¢ por kwhr por las primeras 100 kwhr por demanda -
 0.9 ¢ por kwhr por las siguientes 300 kwhr x demanda.
 0.7 ¢ por kwhr por el resto de la energía consumida.

En este punto se calculará la factura considerando una asignación del 70 y 85% para el factor de potencia, para evitar la aplicación de multas por parte de la central de fuerza.

Costo con factor de potencia del 70%.

$$100 \times 1213 = 121300 \text{ kwhr a } 1.2 \text{ ¢} = \$1455.6$$

$$200 \times 1213 = 242600 \text{ kwhr a } 0.9 \text{ ¢} = \$2133.4$$

$$\frac{186100 \text{ kwhr a } 0.7 \text{ ¢} = 1302.7$$

$$550000 \text{ kwhr}$$

$$\text{Costo total de energía} = \$4941.7$$

$$\text{Cargo por demanda (ejemplo 1)} = \frac{1819.5}{\$6761.2} \text{ cargo total}$$

Costo con factor de potencia del 85%.

$$100 \times 1000 = 100000 \text{ kw-hr a } 1.2 \text{ ¢} = \$1200.0$$

$$200 \times 1000 = 200000 \text{ kw-hr a } 0.9 \text{ ¢} = \$1800.0$$

$$250000 \text{ kw-hr a } 0.7 \text{ ¢} = 1750.0$$

$$\text{Costo total de la energía} = 4750.0$$

$$\text{Cargas por demanda (1)} = 1500.0$$

Cargo total	=	6250.0
Diferencia de las facturas	=	511.2

3. Facturación de la demanda basada en los kva efectivos, con cargos de energía dependiente o independientes de la facturación de la demanda. Esto significa que la factura calculada a base de la demanda real en kva, incluirá también la corriente que no produce trabajo útil a la planta. Las cuotas por concepto de multa convencional estarán en proporción directa con el factor de potencia en todo su rango hasta el 100%.
4. Simplemente se aumenta o se reduce la factura por el consumo de fuerza, lo que depende de la proporción en que el factor de potencia promedio sea menor al establecido como base.
5. Algunas veces se aplica un cargo por los kilo volt-amperes reactivos (corriente magnetizante) en la facturación del consumo de fuerza, en vez de emplear alguna cláusula específica sobre el factor de potencia. En general este cargo es de \$0.23 por kvar.

Hay muy pocas compañías que no tengan alguna forma de multa convencional para el factor de potencia bajo. Este tipo de multas o gravámenes pueden no estar identificados directamente con el factor de potencia como tal, pero aparecerán en alguna parte de la factura.

FACTOR DE CARGA

Esta es la relación que existe entre la carga promedio y la -

demanda máxima. Si el consumidor utiliza la capacidad total, o sea la demanda máxima durante las 24 horas diariamente, se dice que está operando al 100% de su carga o de su factor de carga. En esta forma se logrará la tarifa más baja por kw-hr. Sin embargo, si el ritmo de operación de la planta decrece los cargos por la demanda se reparten entre unos cuantos kw-hr y por tal motivo estos cargos se elevan para cada kw-hr.

COMO REDUCIR EL IMPORTE DE LAS FACTURAS

Ahora que ya hemos comprendido el procedimiento que se sigue para calcular la factura de consumo de fuerza, podemos iniciar la discusión de los medios para lograr su reducción.

La primera regla que se debe tomar en cuenta es que no es posible bajar los costos sin la completa cooperación de todo aquel personal que tiene alguna responsabilidad relacionada con el consumo de fuerza. El programa correspondiente tiene que ser presentado a la supervisión del Departamento de Producción, organismo que tiene que estar convencido de los méritos de dicho programa y de los beneficios derivados de su aplicación, que deberán ser de carácter permanente.

CARGOS POR DEMANDA

La partida individual más importante que se tiene que considerar en una factura de consumo de fuerza es el cargo de la demanda. En las cuotas por kw generalmente se pueden lograr substanciales -

economías en este renglón sin sacrificar en forma alguna el rendi -
miento productivo.

Para localizar cargas que se puedan reducir en el renglón de-
la demanda, la regla es buscar entre los elementos que requieren el
tas cargas, ya que el hecho de apagar un foco aquí o allá tendrá -
una influencia insignificante en las líneas.

Sin embargo, las cargas representadas por hornos de 500 kw, -
motores de 350 Hp y elementos similares, constituyen el equipo apri
piado para iniciar la investigación.

VII. RED ELECTRICA DE UNA INDUSTRIA PROTOTIPO

Usualmente una planta industrial, se planea y diseña por los arquitectos en cooperación con los ingenieros consultores. Mientras los arquitectos diseñan los edificios o estructuras, los ingenieros planean, diseñan y disponen los diversos servicios que se incluyen en los edificios.

Estos comprenden instalaciones como, plomería, calefacción, refrigeración, ventilación y los sistemas eléctricos necesarios para obtener los propósitos deseados.

Todas las salidas e instalaciones eléctricas se muestran en los planos o copias, con anotaciones adecuadas cuando se requieren.

Analizaremos a continuación el proyecto de una industria tipo que se localiza al final de este trabajo.

La alimentación de energía se recibe a través de acometida subterránea por la parte posterior del edificio mediante la conexión de la línea de distribución a la mufa terminal exterior, quedando la subestación conectada a través de un bus por medio de la mufa terminal interior del cable.

La conexión de la subestación al bus de alto voltaje, se lleva a cabo a través de un interruptor general o interruptor de servicio, contando éste con equipo de medición en alta tensión.

Una vez que la energía ha pasado por esta sección entra ahora al compartimiento principal de la subestación constituido por el

transformador que toma la energía de alto voltaje y la reduce a voltaje de utilización, conectándose posteriormente a las barras conductoras trifásicas, donde es distribuida la energía a través de los corta circuitos en aire a la línea de distribución principal.

Las dos líneas de alimentación se encuentran en charolas o cañaleras rígidas, las cuales llevan 6 barras conductoras aisladas estando éstas dispuestas en pares. Estos dos alimentadores trifásicos suministran toda la energía de la planta, su identificación es numérica o sea que tendremos el alimentador No. 1 y el alimentador No. 2. (Ver diagrama 1-2).

El alimentador No. 1 sale de la parte superior de la sección de bajo voltaje de la subestación, tomando forma de una T, de aquí se ramifica en las direcciones norte-sur. Los ramales se extienden hacia arriba a lo largo de la pared oriente hasta encontrar las paredes de los lados norte y sur del área de fabricación, en esta parte doblan y siguen la estructura de la pared en dirección oriente.- El ramal que se encuentra en la pared sur termina aproximadamente en el punto medio de la pared, mientras que el localizado en la pared norte corre por la pared del área de fabricación, al llegar al extremo (pared oriente) se dobla nuevamente y corre por la misma pared prácticamente en toda su longitud en donde termina.

Tal como se observa el alimentador No. 1 circunscribe prácticamente el perímetro interior del área de fabricación de la planta. En el alimentador encontramos conectados 7 transformadores del tipo

seco (ver plano), éstos varían en tamaños desde 35 a 75 kva (kilo - volt-ampere). Los voltajes nominales de los transformadores son - 480 volts en el primario y 220/110 volts en el secundario o lado de carga, se encuentran conectados en estrella o delta y sus designa - ciones y propósitos son los siguientes:

T-A 85 Kva - Se usa para alumbrado y receptáculos.

T-B 35 Kva - Se usa para alumbrado y receptáculos.

T-C 35 Kva - Se usa para alumbrado y receptáculos.

T-D 35 Kva - Se usa para alumbrado y receptáculos.

T-E 75 Kva - Se utiliza para los ventiladores del techo, luz y fuerza.

T-F 75 Kva - Es utilizado para acondicionamiento de aire.

T-G 175 Kva - Se utiliza para los ductos del trole industrial y la alimentación de energía del elevador.

Todo lo anterior constituye la función de cada uno de los - transformadores al estar conectados a la alimentación No. 1 en charolas o canaleta. (Ver diagrama 1-3). Las cargas se conectan a - los secundarios del transformador por medio de tableros de luz y - fuerza, los cuales alimentan a los diversos circuitos derivados con lo cual se obtienen los resultados deseados.

El alimentador No. 2 principia también en la parte superior - de bajo voltaje de la subestación, se eleva aproximadamente 3.0 m.- y dobla hacia el oriente, a la sección de fabricación. Se suspende de la estructura de los caballetes del techo por el lado plano. Es - te segundo alimentador corre aproximadamente hasta la mitad del área

de fabricación en donde se vifurca en una sección en T, sigue en las direcciones norte y sur de la planta, no existe conexión en la sección oriente-poniente del ducto No. 2. Sin embargo, los ramales norte-sur están provistos de cubículos para cortar circuitos dobles. Los cubículos se conectan a las líneas de los ductos de enchufe que corren hacia el oriente y el poniente desde los cubículos en forma de ramal doble.

De los ductos conductores de enchufe se tienden circuitos derivados para motor, los cuales están protegidos por tapones corta circuitos, estos motores alimentarán las máquinas localizadas en el piso. A este ducto están conectados también los condensadores sín - cronos utilizados para mantener el factor de potencia cercano a la unidad (Diagrama 1-3a).

Ahora bien, tal como se podrá observar los planos nos mues - tran la longitud y anchura total, así como su orientación, supondre mos ahora su arreglo imaginario de distribución y en función de éste propondremos arreglos de instalación eléctrica.

Suponiendo que se tiene un sótano que se extiende de norte a - sur en el extremo frontal del edificio, llegándose al sótano desde el exterior, a través de dos entradas para empleados. Existen tam - bién dos corredores, los cuales parten del principal, conduciéndo - nos al área de fabricación del edificio. Un túnel se extiende desde uno de los corredores y nos conduce al cuarto de caldera, locali - zado en el extremo oriente de la estructura.

En el lado poniente del corredor principal, se encuentra el cuarto para los gabinetes, así como el área de sanitarios para da -
 mas, la cafetería, el elevador (para los pisos superiores), el cuar -
 to del conserje y un salón de lectura. A lo largo del lado oriente
 del corredor encontramos los cuartos para gabinetes y área de sani-
 tarios para caballeros.

Dos tableros para alumbrado, se encuentran instalados en el -
 corredor principal, suministrando éstos la energía para los circui-
 tos de alumbrado y receptáculos (consultar hoja No. 3 de los planos
 y lista de arreglos para iluminación y de salidas para receptáculos
 en los tableros P-1 y P-4).

Entremos ahora a las oficinas, están situadas en el primer pi-
 so, aquí se muestra primeramente el vestíbulo principal en el fren-
 te del edificio, enseguida se encuentra el escritorio de recepción,
 así como el conmutador telefónico. Dos escaleras llevan hacia arri-
 ba, desde el sótano de la entrada de empleados, la cual se encuen-
 tra localizada en los extremos de los corredores que parten del ves-
 tíbulo. Dos escaleras más conducen al segundo piso desde el vesti-
 bulo principal, pudiéndose llegar a la sección de fabricación de la
 planta a través de cuatro pasillos (Hoja No. 4 de los planos).

En el lado poniente del corredor norte encontraremos tres ofi-
 cinas para ejecutivos, a lo largo del lado opuesto se halla otra -
 oficina y el salón de caballeros. El corredor sur tiene dos ofici-
 nas a lo largo de la fachada del lado poniente y el elevador se lo-

caliza también aquí. En el lado oriente del corredor sur se encuentran el salón para damas, una bodega y el cuarto del equipo telefónico.

Los tableros de alumbrado P-2 y P-5 se encuentran localizados en los corredores norte y sur, estos tableros suministran energía para alimentar circuitos eléctricos de alumbrado e iluminación.

Muchos de los circuitos de alumbrado se controlan con interruptores de pared, todos los circuitos se protegen y controlan con corta circuitos localizados en los tableros. De acuerdo a las especificaciones de seguridad, todos los circuitos derivados deben instalarse en conduit de acero.

Finalmente el segundo piso (Ver plano No. 8), se alimenta de los tableros de alumbrado P-3 y P-6. Las oficinas generales se encuentran en el extremo sur de la estructura, el salón de dibujo se localiza también aquí atravesándolo un corredor, del lado poniente del corredor está el Departamento de Ingeniería. También se encuentran localizados sobre este corredor el salón de las damas, el de los caballeros, así como dos escaleras que bajan al primer piso. Una tercera escalera sube al techo de la fábrica y a la caseta del elevador.

Los tableros localizados en la estructura de las oficinas (parte frontal del edificio) alimentan a las secciones del sótano, primer piso y segundo piso, reciben la energía mediante dos juegos de líneas secundarias. La alimentación consiste en cuatro conductores

del No. 1 tipo R.H.

El primer conjunto de líneas secundarias suministran energía a P-1, P-2 y P-3, mientras el segundo conjunto alimenta a P-4, P-5 y P-6. Las líneas de conduit para las alimentaciones secundarias - empiezan en los transformadores identificados como T-A y T-B, éstos clasificados en 35 kva y poseen secundarios de 220/110 volts.

Los planos y especificaciones para iluminación de las secciones de fabricación se representan en arreglos o luminarias que se suspenden de líneas de ductos de trole de dos ramales. Los table - ros eléctricos que sirven a esta sección se identifican como P-7, - P-8, P-9 y P-10.

Los tableros P-7 y P-8 reciben energía del transformador T-C de tipo seco clasificado en 35 kva. Los tableros P-9 y P-10 se ali - mentan del transformador T-D que también se clasifica en 35 kva. De cada uno de los tableros salen 5 circuitos clasificados que suminis - tran energía a los ductos del trole, de estos ductos se suspenden - las luminarias de tipo industrial. (Ver Fig. 1-8 y 1-9).

Ahora bien, en la sección de calderas encontramos también dos tableros eléctricos, uno es utilizado para la iluminación general - mientras que el otro es para fuerza, están identificados como P-12- y P-13 y son alimentados por el transformador T-E.

El tablero de alumbrado está provisto de interruptores monofá - sicos, mientras que el de fuerza se equipa con corta circuitos. Los

ramales que salen de este tablero son trifásicos 220/110 volts y se utilizan para accionar quemadores de petróleo, bombas y otros equipos.

Se encuentran dos tableros más de energía que son alimentados por el ducto alimentador No. 1 a través de los transformadores de tipo seco, éstos proporcionan la energía para el funcionamiento del sistema de ventilación y acondicionamiento de aire. Son el P-11 y P-12 respectivamente.

Existen también sistemas adicionales en el edificio tal como la alarma de incendios y uno de reloj y programa. Se notará también que existe un sistema de luces en las puertas de las plantas, éstas son con el fin de cumplir con las leyes estatales y locales, se encuentran en diferentes lugares las luces y son para señalar salidas de emergencia de la planta.

CONCLUSIONES

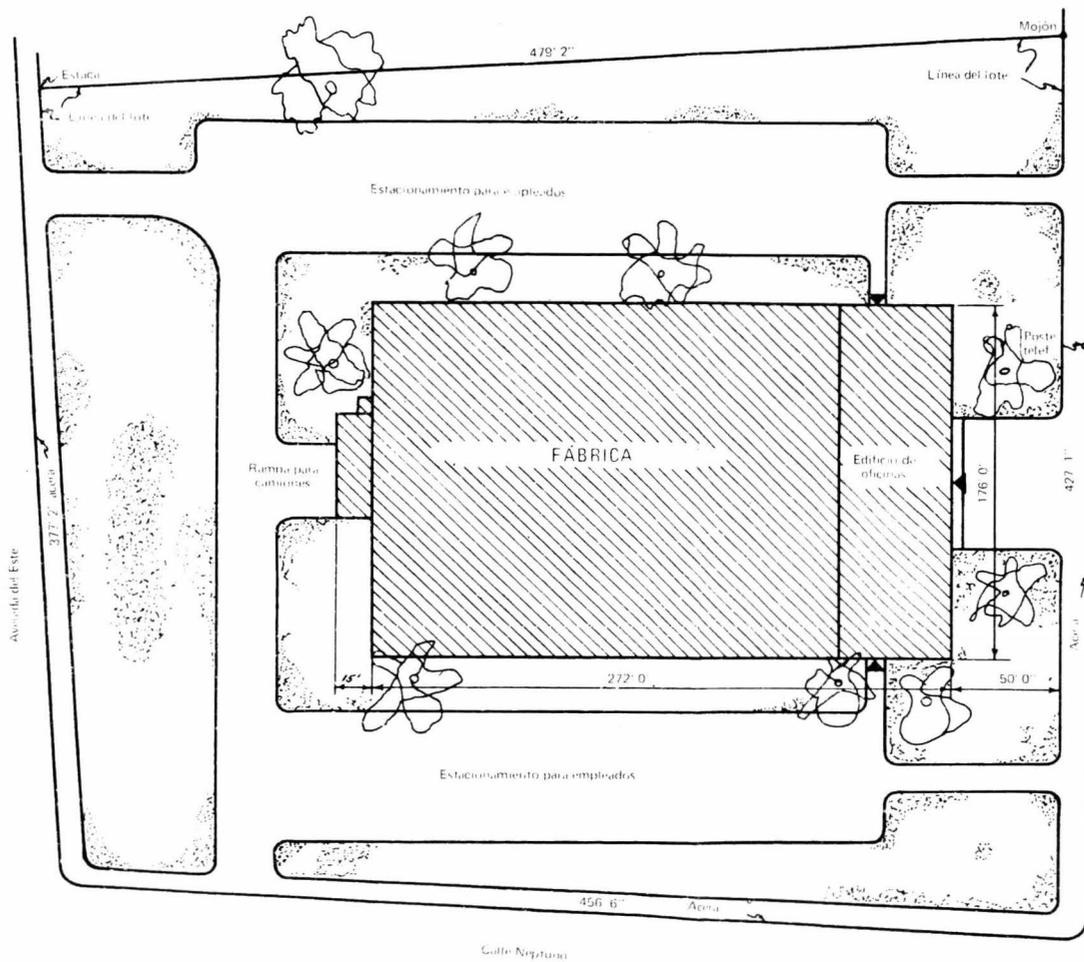
La realización de este estudio nos ha permitido conocer y manejar conceptos fundamentales sobre operación, funcionamiento de equipo y medidas de seguridad de una red eléctrica industrial, así como también nos ha proporcionado fundamentos para dar puntos de vista y opiniones sobre trabajos a realizar por ingenieros especialistas en la materia.

Esperamos que este humilde trabajo proporcione a futuros ingenieros químicos bases para adentrarse un poco a la difícil disciplina de las instalaciones eléctricas industriales.

BIBLIOGRAFIA

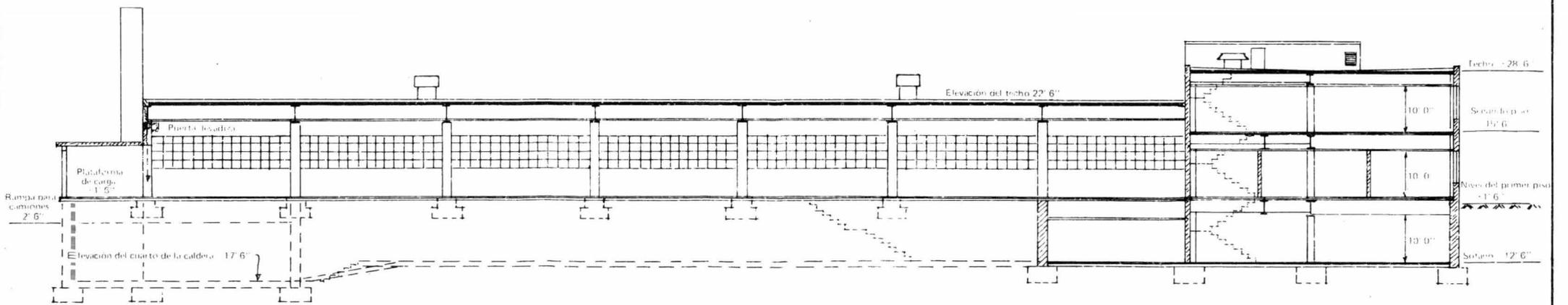
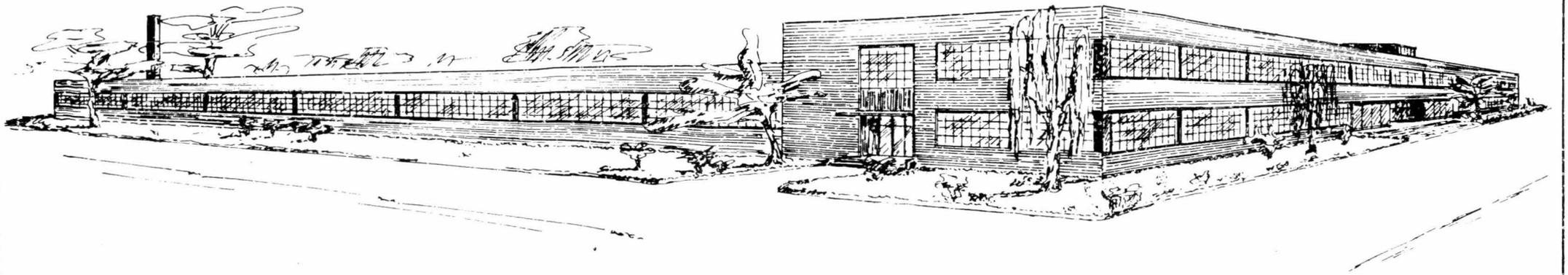
1. Capacidad de Conducción de Corriente en Cables Aislados,
F. Hawley. Condumex, S. A.
2. Conductores Eléctricos y Alambre Magneto.
Phelps Dodge Pycsa, S. A. 1974.
3. Control de Motores Eléctricos.
Watter N. Alerich. Ed. Diana, 1973.
4. Electricidad Industrial.
Ch. L. Dowes. Ed. Reverté, 1958.
5. Electricidad Industrial Básica. Vol. I, II.
Van Valkenburgh. Nooger & Neville, Inc. Ed. CECSA, 1972.
6. Enciclopedia de la Técnica y la Mecánica. Tomo II, V.
Editorial Nauta.
7. Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión.
Ing. Gilberto Enriquez Harper. Ed. Limosa, 1974.
8. Instalaciones Eléctricas Residenciales.
Ing. Pedro Camarena. Ed. Reverté 1970.
9. Instalación, Operación y Mantenimiento de los Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica por Cables Subterráneos.
Arturo Morales C. Tesis, 1971.

10. Instrumentos de Medidas Eléctricas.
SH. ALUKER, Ed. Mir, Moscú 1969.
11. Manual del Ingeniero. Tomo II y III.
Academia Hütte. Ed. Gustavo Gili, S.A. 1942.
12. Manual de Mantenimiento. Tomo II.
L. C. Morrow, Editor. Ed. CECOSA, 1973.
13. National Electric Code. Tomo I, II y IV. 1973.



ÍNDICE DE DIBUJOS

- 1/8 PLANO DEL TERRENO E ÍNDICE
- 2/8 PERSPECTIVA Y SECCION LONGITUDINAL
- 3/8 PLANO DEL PISO DEL SÓTANO
- 4/8 PRIMER PISO, DUCTO ALIMENTADOR NÚM. 1 Y ALUMBRADO
- 5/8 PRIMER PISO, DUCTO ALIMENTADOR NÚM. 2 Y DISPOSICION DE MÁQUINAS
- 6/8 PRIMER PISO, LÍNEAS DEL DUCTO DEL TROLE
- 7/8 PRIMER PISO, ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y PLANO DEL TECHO DE LA ESTRUCTURA DE LAS OFICINAS
- 8/8 PLANO DEL TECHO DE LA FÁBRICA Y ALUMBRADO DEL SEGUNDO PISO

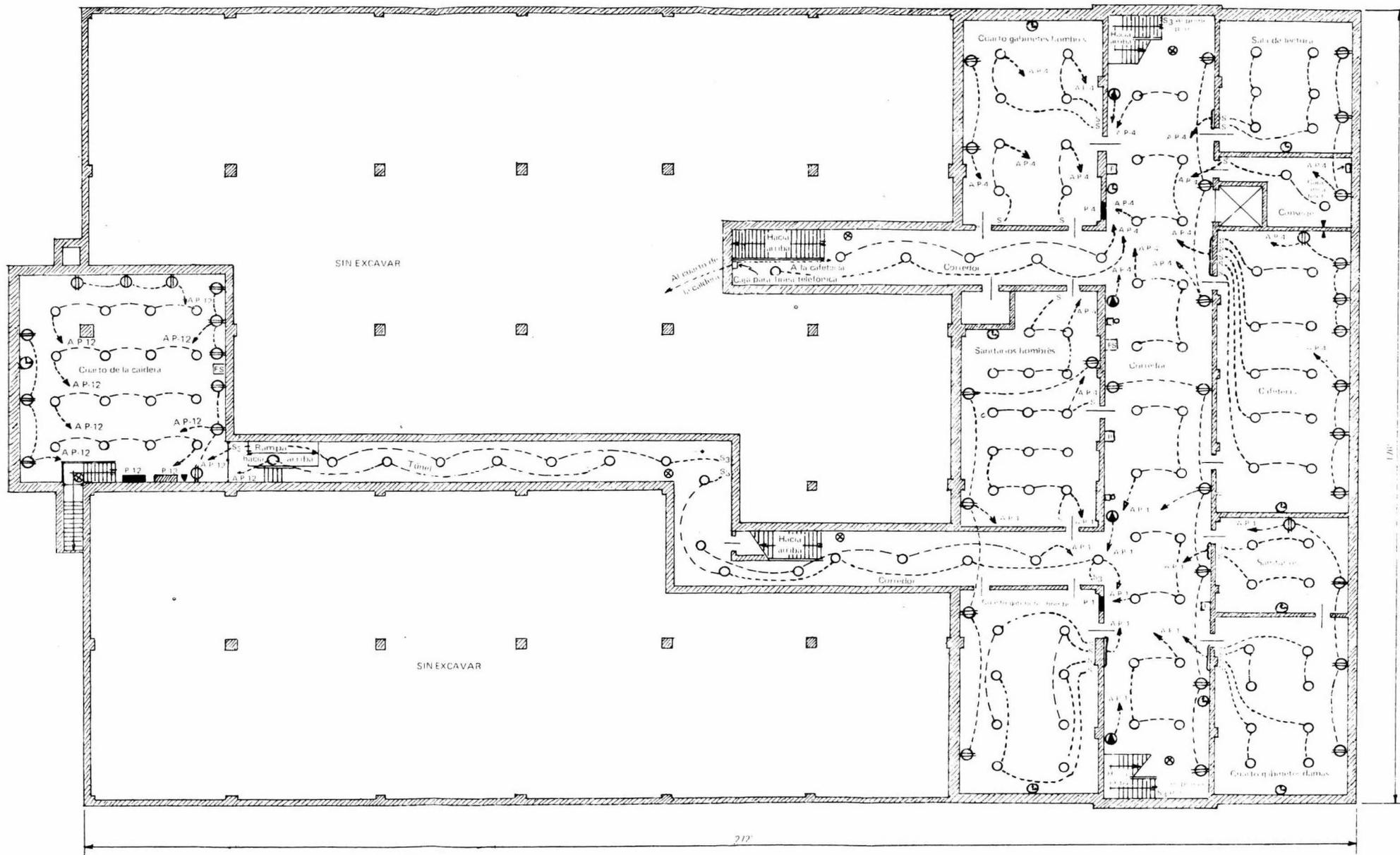


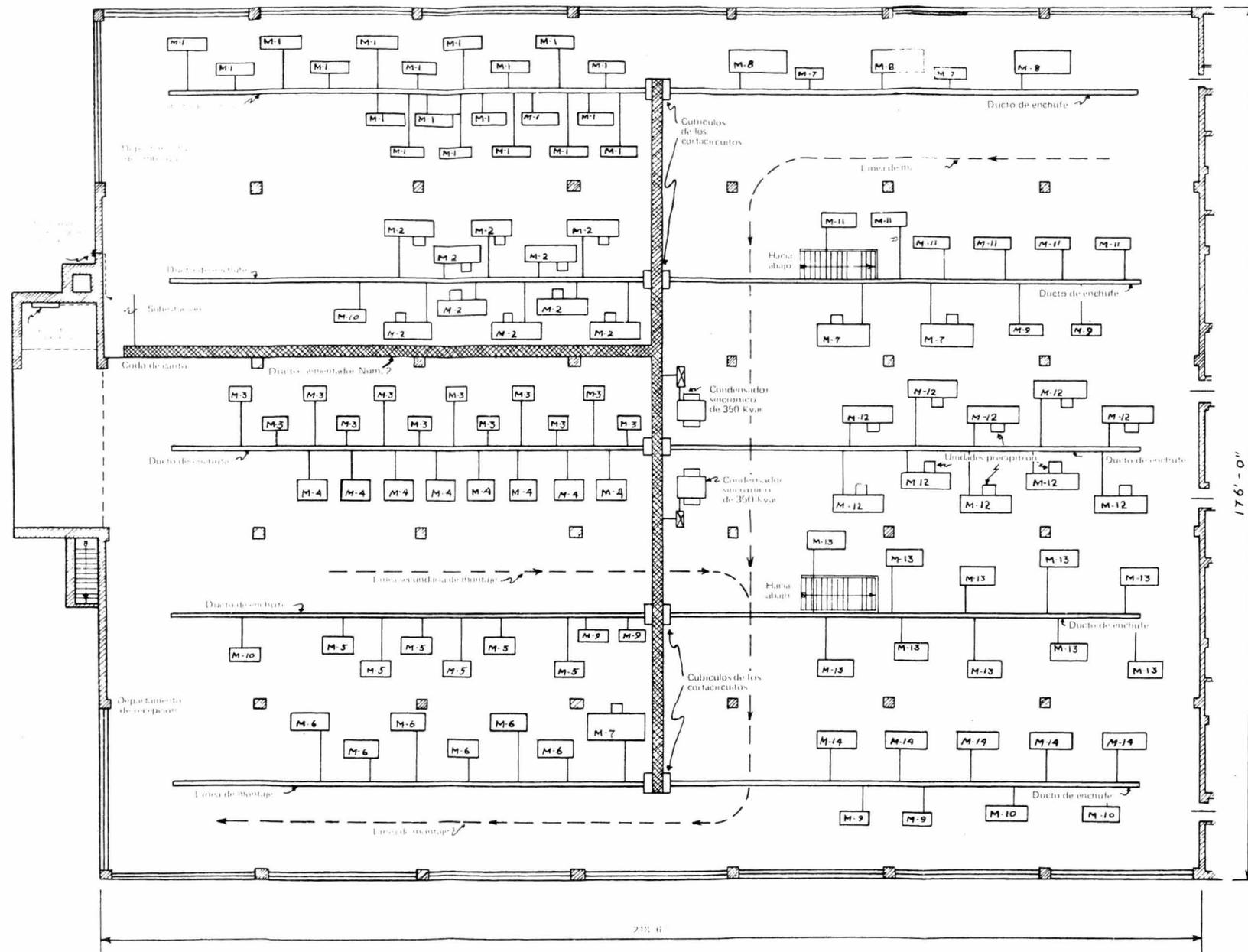
EDIFICIO INDUSTRIAL

PERSPECTIVA Y SECCIÓN
LONGITUDINAL

ESCALA: 1/16" = 1 PIE

HOJA $\frac{2}{8}$

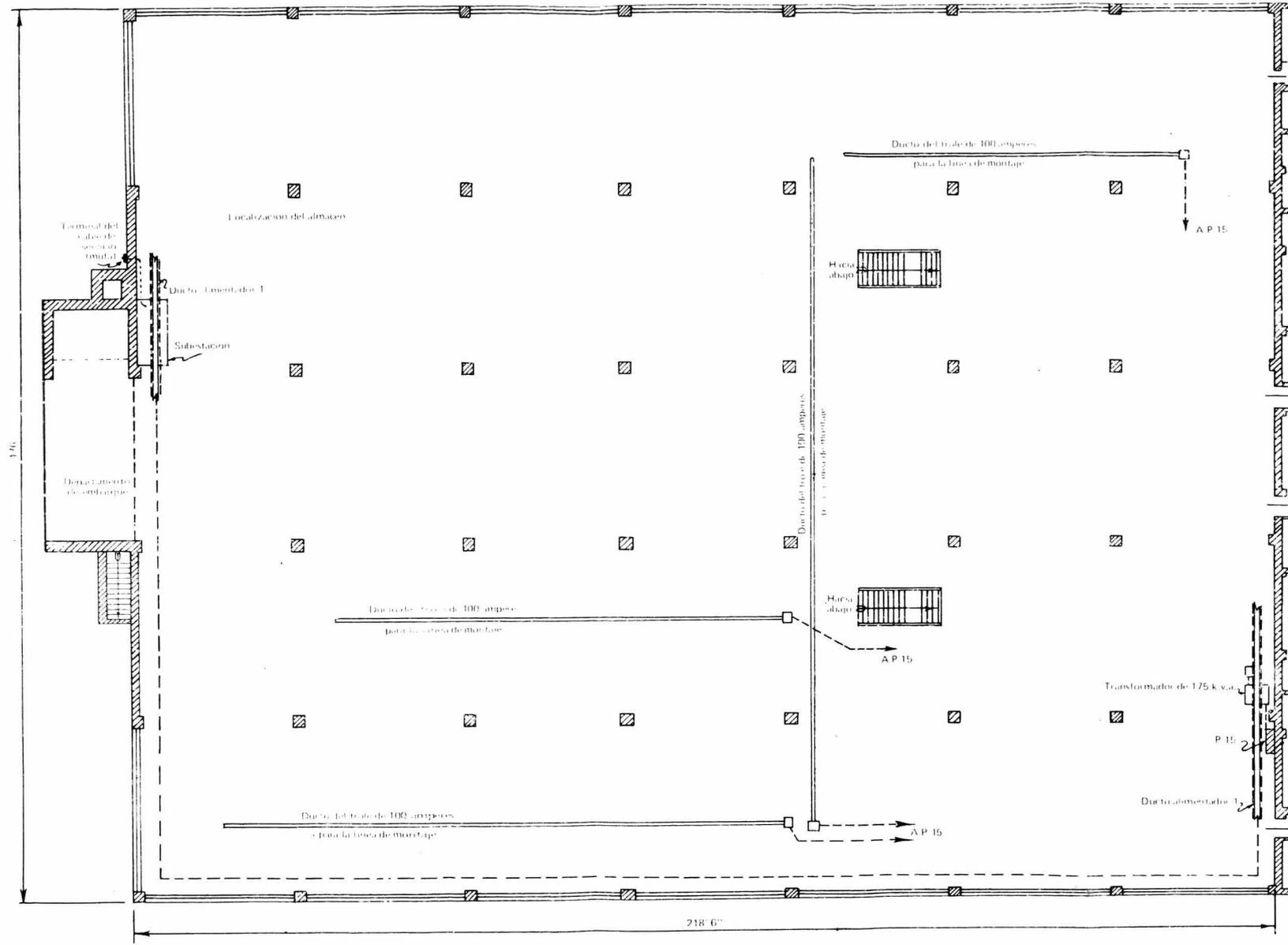




LISTA DE MAQUINAS HERRAMIENTAS	
M-1	TORNOS COMUNES
M-2	TORNOS REVÓLVER
M-3	TALADROS VERTICALES
M-4	TALADROS DE HUSILLOS MÚLTIPLES
M-5	FRESADORAS
M-6	LIMADORAS
M-7	MÁQUINAS TALADRADORAS VERTICALES
M-8	CEPILLADORAS
M-9	SIERRAS MECÁNICAS
M-10	SIERRAS CINTA
M-11	RECTIFICADORAS DE SUPERFICIE
M-12	RECTIFICADORAS CILÍNDRICAS
M-13	TROQUELADORAS
M-14	MÁQUINAS ESPECIALES

NOTA

UN CONTROL DE LUBRICACIÓN "PRECI PITRON" EN CADA TORNO REVÓLVER, TALADRADORA VERTICAL Y RECTIFICADORA CILÍNDRICA



SIMBOLOS ELÉCTRICOS	
○	SALIDA PARA TECHO INTERIOR
○	SALIDA PARA PARED
⊕	SALIDA DOBLE
S	INTERRUPTOR DE UN POLO
S ₃	INTERRUPTOR DE TRES VÍAS
⊗	LUZ PARA LA PUERTA
⊙	SALIDA PARA PROPÓSITO ESPECIAL
■	TABLERO DE ALUMBRADO
▨	TABLERO DE FUERZA
T	TRANSFORMADOR DEL TIPO SECO
—	DUCTO DE ENCHUFE
—	DUCTO ALIMENTADOR
☎	TELÉFONO
⊙	RELOJ
F	ESTACION DE ALARMA CONTRA INCENDIOS
FS	SIRENA DE ALARMA CONTRA INCENDIOS
P	SEÑAL DE LLAMADA
□	SEÑAL DE PROGRAMA

