0944

UESCARTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
Presenta
PEDRO MIER CLARK

MEXICO, D. F. 1966

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

A MI ESPOSA E HIJOS

A MI MADRE Y HERMANOS

A MIS TIOS: JESUS Y CONCHITA.

2949

FACULTAD DE INGENIERIA.
Dirección.
Núm. 73-
Exp. núm. 73/214.2/-1.

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

Al Pasante señor Pedro Mier Clark,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor profesor Ingeniero - Fernando Argüelles Abreu para que lo desarrolle como tésis en su examen profesional de Ingeniero MECANICO ELECTRICISTA.

"INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES".

Este título deberá incluir los siguientes puntos:

Introducción.

Análisis de la carga.-
a) Alumbrado: diseño de la iluminación.
b) Fuerza: selección de los motores y su método de arranque y control.
c) Calefacción y refrigeración.

Proyecto de la Instalación.
Red de Distribución.
Centros de Carga y Subestaciones.
Selección de materiales y presupuesto.
Instalación del equipo de acuerdo con el Reglamento Vigente.
Conclusiones.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, - deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de - seis meses como requisito indispensable; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tésis el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., a 10 de agosto de 1964.
EL DIRECTOR

Ing. Antonio Dovalí Jaime.

ADJ/MMO/mvb.

INTRODUCCION

Al intentar resolver el tema de una "instalación eléctrica industrial", he tratado de enfocarlo desde el punto de vista práctico, es decir, tratar de ayudar al técnico o al profesionista recién egresado a resolver los problemas que se le presentarán al ejecutar un proyecto o una instalación de este tipo, ya sea como empleado de una empresa o como contratista.

El aspecto teórico de cada uno de los temas abordados, como máquinas eléctricas, transformadores, fenómenos de interrupción y corto circuito, etc., se ven extensamente en las clases, por lo que los he pasado por alto y he dado especial interés a lo que para mí constituye el más grande problema del nuevo profesionista y que es la correcta aplicación en la práctica de los conceptos adquiridos como estudiante.

Para el desarrollo del tema he tenido que recurrir principalmente a libros americanos como el Beeman, el National Electrical Code Handbook y los folletos técnicos del I.E.E.E., de todos ellos he entresacado lo que he considerado más importante y además compatible con nuestro medio. Las instalaciones industriales que para nuestro medio son muy grandes, resultan pequeñas en los Estados Unidos; los niveles de alumbrado usados por ellos son mucho más altos que los nuestros, sus redes de distribución más a prueba de falla que las nuestras, etc. Todo lo anterior se debe primordialmente a dos factores: primero, sus ingenieros de proyecto han tenido una experiencia muy grande, pueden recurrir a estadísticas que nosotros apenas estamos desarrollando, el costo de un proyecto es una suma muy grande que en México el empresario no puede o no está

ANALISIS DE LA CARGA

Una estimación aproximada de la carga constituye un requisito primordial para elaborar un proyecto de una instalación en una industria — ya que a partir de este dato se va elaborando toda la red.

Aún cuando en la mayoría de los casos esta estimación es relativa, ya que se carece de datos suficientes o estos sufren modificaciones al irse encontrando equipos mejores para cada proceso, es muy importante que se tenga un sistema con capacidad suficiente para afrontar la carga que se tendrá al funcionar la planta ya que el quedarse cortos en este aspecto, ya sea en capacidad en la subestación, en los alimentadores o en los tableros, representará posteriormente una inversión mucho mayor y para afrontarlo será necesario parar la planta o al menos algunas secciones de ella con objeto de hacer las modificaciones o nuevas instalaciones necesarias.

Cuando alguna de las cargas esté un poco incierta, es preferible suponerle una capacidad con margen suficiente, que tener que ampliar subestaciones o reforzar alimentadores.

Las cargas en la industria están constituídas básicamente por:

a) Alumbrado,

b) Motores,

c) Calefacción y Refrigeración.

Se verá a continuación la forma de calcular un alumbrado y, de ahí obtener la carga que éste representa; asimismo se hará para los motores, haciendo una breve mención de los diferentes tipos, bases para seleccio-

total y en la industria el 25%, disminuyendo esta proporción a medida -- que la carga se concentra.

El diseño de cualquier instalación de alumbrado debe de tomar en --- cuenta los siguientes factores básicos: a) propósito del alumbrado, si es para industria, decorativo, para vender, etc.; b) el tipo de trabajo que se va a desarrollar, si es burdo o crítico; y c) las consideraciones económicas.

Para la industria, la selección del sistema se debe basar primordialmente en tener un caudal de luz suficiente para desarrollar el trabajo a - su ritmo normal y sin que se produzcan accidentes.

Existen actualmente tres fuentes luminosas:

Lámparas incandescentes
" fluorescentes
" de mercurio

En la siguiente tabla se hace un estudio comparativo de las características principales de cada una de ellas:

TABLA 2-1

Fuente	Eficiencia lumens/watt	Vida media hrs.	Inversión Inicial	Mantenimiento	Equipo Auxiliar	Usos principales
Lámpara incandescente	17	1000	Baja	Bajo	Ninguno	Alumbrado doméstico, bajos niveles en industrias y edificios.
Lámpara fluorescente	46	3000	Alta	Medio	Balastro	Oficinas; altos niveles; en la industria en lugares bajos y no sujetos a vibraciones.
Lámparas de mercurio	40	5000	Alta	Bajo	Transformador	Naves grandes y elevadas; alumbrado público, donde la distinción de colores no es importante.

Existen tablas para determinar con más o menos precisión los elementos anteriores y en cada caso especial deberá recurrirse a ellas.

4.- Estimar el factor de mantenimiento.

Hay tres elementos que intervienen:

a) Disminución del flujo luminoso debido al uso de la unidad, que disminuye del 10 al 25%, dependiendo del tamaño y tipo de lámpara.

b) Disminución del flujo debido a suciedad de la lámpara misma y del reflector.

c) Pérdida de luz reflejada debido a la acumulación de polvo en el techo y paredes.

Dependiendo de las condiciones anteriores, el factor de mantenimiento se puede considerar como malo, mediano y bueno y cuyos valores varían de 0.5 a 0.75 de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

5.- Calcular el número de lámparas requeridas.

El número de lámparas está dado por la siguiente fórmula:

Número de lámparas =

$$= \frac{\text{nivel requerido (en foot candles)} \times \text{área (en píes cuad.)}}{\text{lumens/lámpara} \times \text{coef. de utilización} \times \text{factor de mant.}}$$

Los lumens por lámpara es un dato que se obtiene del fabricante; en el caso de lámparas fluorescentes de 2 o más tubos, deberán multiplicarse los lumens por el número de tubos.

6.- Colocación de las unidades.

Excepto en casos especiales, en la industria se requiere siempre un alumbrado uniforme en toda el área, para lograr lo anterior el espaciamiento entre las lámparas deberá ser el mismo y observar siempre

los valores de espaciamiento con relación a la altura de montaje, que varían con el tipo de lámpara, pero que generalmente son inferiores a la unidad, es decir, el espaciamiento entre las unidades nunca debe exceder a la altura de montaje.

Cuando las unidades se distribuyen simétricamente, se tiene un nivel uniforme de alumbrado que permite colocar las máquinas y el equipo en cualquier posición, sin reacomodar las lámparas y utilizando todo el espacio disponible.

En la industria, dependiendo de la naturaleza del proceso de que se trata, del cual depende la altura y forma del local, los casos que se pueden presentar son los siguientes:

Area de alto montaje.

Para este tipo de montaje es recomendable un tipo de lámpara de gran potencia, ya sea incandescente, fluorescente o de mercurio, Las dos últimas resultan las más económicas para alto montaje.

Las lámparas pueden estar en gabinetes o pantallas cerradas o abiertas, dependiendo de la naturaleza del trabajo que se vaya a desarrollar, si es en una atmósfera con humos y sucia se recomienda la cerrada aún cuando el costo inicial es mayor y la eficiencia de estas lámparas es menor, debido al cristal o plástico difusor. En atmósferas más o menos limpias y con alto montaje es más económica la abierta, en la cual la misma corriente que se forma en la unidad tiende a mantenerla limpia.

Areas de bajo montaje.

Por lo general en las áreas de bajo montaje el tipo de trabajo que se desarrolla es más preciso que en las de alto montaje; a lo anterior- debe añadirse que el tipo de alumbrado debe ser de tal forma que no moleste, debido a su mayor proximidad con el operario. Para lo -- anterior, el tipo que mejor se adapta es el fluorescente, prefiriéndose unidades de media potencia y en algunos casos formando tiras - contínuas.

Alumbrado localizado y suplementario.

En algunos procesos de fabricación, la colocación de la maquinaria - puede ser tal que permita tener un alumbrado localizado en cada una- de ellas (como en talleres de máquinas herramientas); este alumbrado puede considerarse como suficiente si puede proporcionar el alumbrado necesario no solo sobre las máquinas sino también en los pasillos- y áreas de almacenaje de materia prima y producto terminado. Lo - más conveniente es tener un alumbrado general dependiendo del tipo - de local en que se trabaje y además lámparas fluorescentes colgadas- sobre cada máquina o lamparas incandescentes montadas sobre la --- misma máquina. Este último arreglo proporciona niveles altos en el lugar exacto donde se requieran y un nivel suficiente en el resto del - local para tránsito y trabajos generales. Resulta además más confortable para el operario ya que la vista se cansa mucho más debido a -- los cambios bruscos en el nivel de alumbrado.

b) Fuerza: Selección de los motores y su método de arranque y control.

Los tipos de motores que más frecuentemente se usan en la actualidad

en la industria son los motores polifásicos de inducción. Solo en casos - especiales de motores muy chicos, como para herramientas, se usan -- los motores monofásicos.

Los motores de corriente directa se usan principalmente en sistemas giratorios de velocidad variable, como en la industria papelera.

Motores de inducción Jaula de Ardilla:

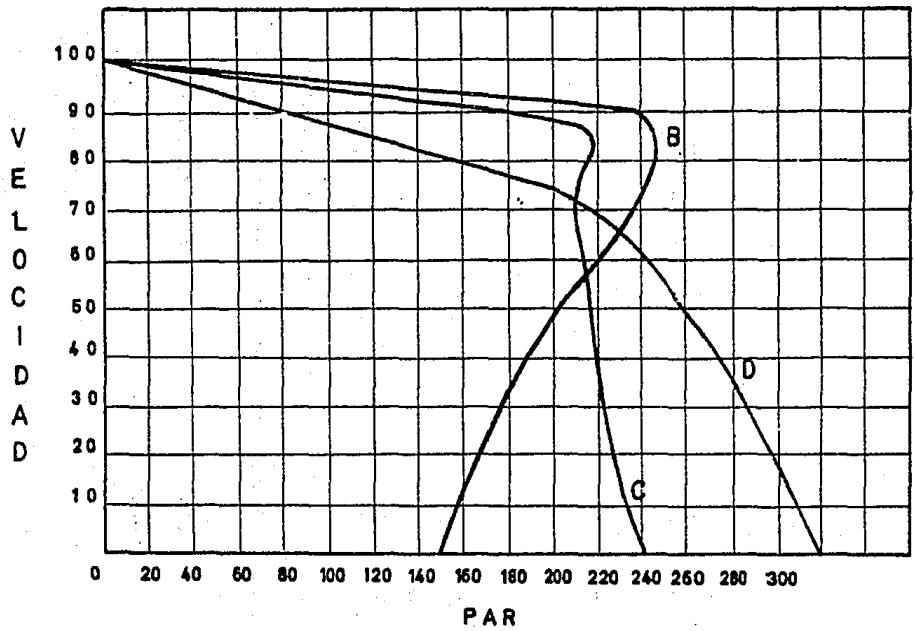
Las caracteristicas de los tres tipos de motores más usados en la industria son las siguientes:

CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION. Tabla 3-1

Clase NEMA	Capacidad	Polos	Par (en función del de plena carga) Arranque	Par (en función del de plena carga) Máximo	Cte. de arranque (en función de la de plena carga)	Deslizamiento a plena carga %	Notas	Aplicación
B	Contínua 40° Elevación	4	1.5	2.0			Alta reactancia Motores para arranque directo sobre la línea.	Máquinas herramientas, bomba centrífugas, ventiladores, equipo de motor generados y cualquier equipo que requiera bajo par de arranque.
		6	1.35	2.0	5 - 6	2 - 3		
		8	1.25	2.0				
C	Contínua 40° Elevación	Todos	2.0-2.5	2.0	5 - 6	2 - 3	Doble jaula. Motores para arranque directo sobre la línea.	Compresoras, bombas de embulo, transportadores, máquinas refrigeradoras grande y equipo que requiera alto par de arranque.
D	Contínua 40° Elevación	Todos	3.5	3.0	5	5 - 8	Rotores de alta resistencia.	Elevadores, prensas, gruas, pequeñas, máquinas con volante.
						8 - 13		

La característica de par contra velocidad, para los tres tipos de mo-- tores, se muestra en las siguientes curvas: (Tabla 3-2)

(3 - 2)



Las características de los motores varían con el voltaje y la frecuen- cia de la línea de alimentación. La manera en que estos factores afectan- el funcionamiento del motor, se muestra en la tabla siguiente:

(Ver tabla 3-3)

Control de motores. -

El término "control" se aplica generalmente al mecanismo empleado - para regular la velocidad del motor, así como para arrancarlo o pararlo; el mecanismo empleado únicamente para arrancar o parar un motor se -- denomina "arrancador".

Control de los motores de inducción Jaula de Ardilla. -

Tabla 3-3

Característica	Voltaje			Frecuencia		
Que afecta (en % del normal)	110 %	90 %	FUNCION	105 %	95 %	FUNCION
Par de arranque y max.	+ 21	-19	$(\text{voltaje})^2$	-10	+ 11	$\frac{1}{(\text{Frec.})^2}$
Velocidad sincrona	0	0	Const.	+ 5	- 5	Frec.
" plena carga	+ 1	-1.5	$\frac{1}{(\text{voltaje})^2}$	+ 5	- 5	Frec.
Deslizamiento	- 17	+23		0	0	Const.
Eficiencia a plena carga	+ 0.5 a 1.0	- 2		ligero aumento	ligera disminución	
" a 75% "	0	0		"	"	
Factor de potencia a plena carga	- 3	+ 1		"	"	
" " " a 75% carga	- 4	+ 2 a 3		"	"	
Corr. de arranque	+ 10 a 11	- 10 a 12	voltaje	- 5 a 6	+ 5 a 6	$\frac{1}{(\text{Frec.})}$
Corr. a plena carga	- 7	+ 11		ligera Dism.	ligero aumento	
Temperatura	- 3 a 4°C	+ 6 a 7°C		"	"	

Los motores de jaula de ardilla se distinguen por su gran sencillez, pero no admiten equipo de regulación de velocidad o de compensación de fase.

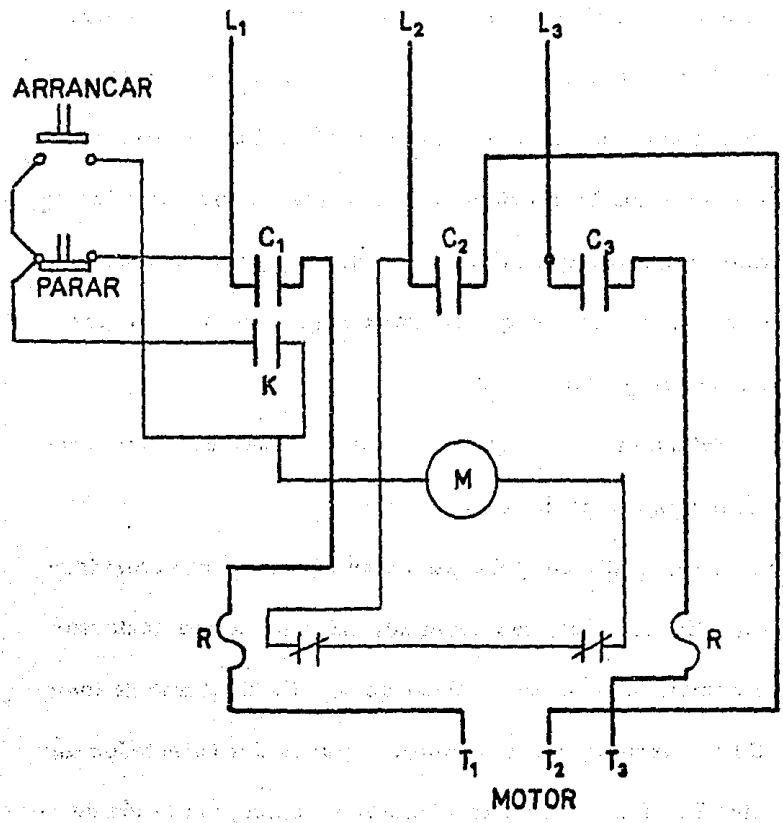
Arranque sobre la línea o arranque directo.

Es el tipo de control más económico. Tiene como inconveniente la aplicación de un par mayor que el de plena carga, que puede dañar la flecha y que produce además una variación de voltaje en la línea del motor, que ocasiona parpadeo en las lámparas y puede inclusive hacer que otros motores se paren. Cuando las industrias poseen sus propias plantas generadoras o subestaciones, este método se aplica aún a los motores de gran potencia ya que en éstos la corriente de arranque es aproximadamente 4 veces la normal, mientras que en los de mediana y pequeña potencia es de 6 o 7 veces, y la perturbación que causará el grande es en proporción menor que la causada por el pequeño.

El dispositivo empleado para el arranque sobre la línea es el mostrado y que consiste principalmente de lo siguiente:

Un juego de contactores C1, C2 y C3 que están normalmente abiertos y a los que llegan las líneas de alimentación L1, L2 y L3; estos contactores cierran por la acción de la bobina magnética M. De cada uno de los contactores C1 y C3 la corriente pasa al motor a través del calentador de un relevador térmico B. Para arrancar el motor se empuja el botón de arranque, ésto hace que se energice la bobina M que hace que se levante un yugo que cierra los contactores C1, C2 y C3 y K, a través del cual se completa el ciclo magnético. Para parar el motor se oprime el botón de parada, lo que interrumpe el circuito magnético.

Los relevadores térmicos consisten de un calentador y un contacto -- normalmente cerrado, en serie con la bobina del magneto M. Al produ-- cirse sobrecarga se calientan los elementos, abriéndose el circuito lo -- que hace que se desenergice la bobina y que abran los contactores. El -- relevador debe volverse a su posición inicial empujando una palanca para que se vuelva a cerrar el contacto y el motor pueda volverse a poner en - marcha.

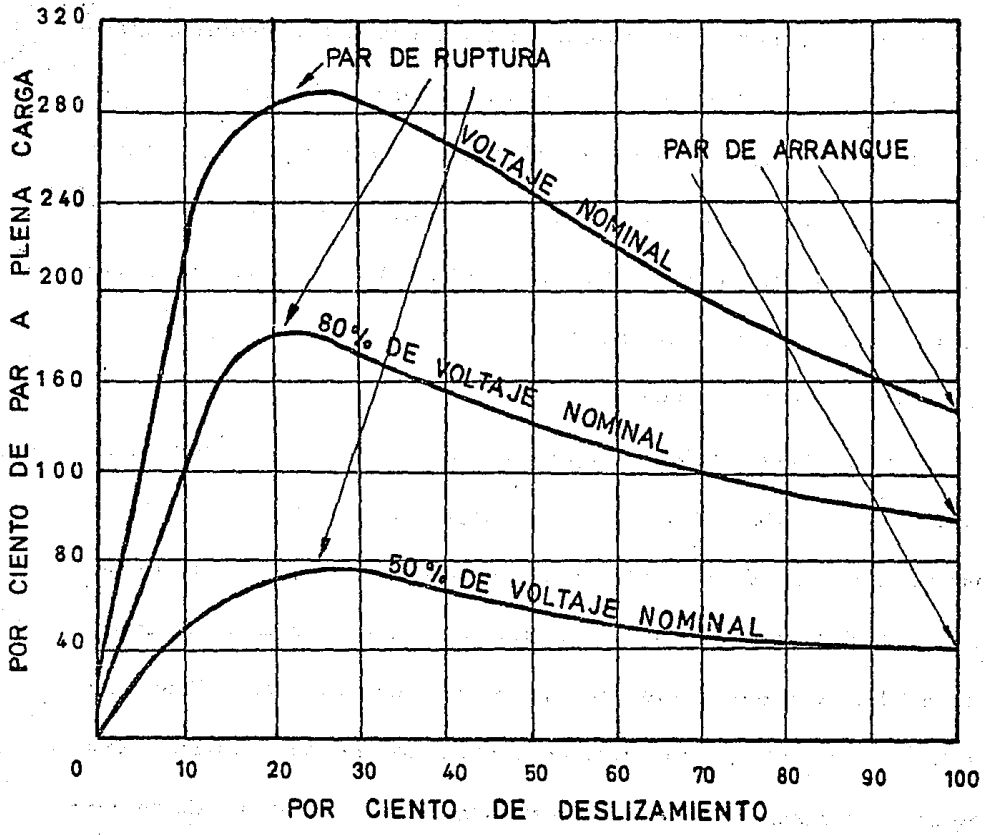


A este tipo de arrancador se le llama "magnético" ya que las partes - móviles están actuadas por una bobina magnética. Los arrancadores de -- uso general pueden interrumpir corrientes hasta 10 veces la corriente ---

normal del motor, ésto les permite abrir las sobrecargas posibles, siendo la mayor la de rotor parado que vale aproximadamente 6 veces la corriente normal. Los arrancadores por consiguiente no proporcionan protección contra corto circuito, por lo que es necesario instalar un interruptor ya -- sea de fusibles o magnético con capacidad suficiente para interrumpir la - corriente de corto circuito en ese punto.

Arrancadores a voltaje reducido.

Se usan cuando el par de arranque a tensión completa puede perjudicar a la máquina o cuando la corriente de arranque es muy grande y puede --- perjudicar a la línea de alimentación o producir disturbios en el sistema. - La corriente deberá reducirse lo más que el par pueda reducirse, siendo- el par mínimo el que determine el voltaje que debe aplicarse. El par de- un motor de inducción para un deslizamiento dado, es proporcional al cuadrado de la corriente de línea. La variación del par con el voltaje se ---- muestra en la tabla 3-4.



Hay varias formas de arrancar un motor de inducción a voltaje reducido y por tanto, disminuyendo el par de arranque; las más empleadas son:

1. - Método Estrella-Delta

2. - Intercalando resistencias y reactancias en serie con el motor,

3. - Mediante autotransformador.

Los requisitos que debe llenar un arrancador para considerarse satisfactorio, son los siguientes:

a). - Producir mínima perturbación en el sistema,

b). - Proporcionar el par de arranque necesario,

c). - Bajo costo,

d). - Permitir selección del par de arranque,

e). - Bajo consumo de energía, y

f). - Requerir poco mantenimiento.

Una tabulación de los métodos contra los requisitos que llena cada uno (indicados con una X) sería la siguiente:

	REQUISITOS					
METODO	a	b	c	d	e	f
Estrella Delta	X	-	-	-	X	-
Resist. y react.	X	X	-	X	X	-
Autotransformador	X	X	X	X	X	X

Los arrancadores estrella delta pueden usarse en motores que tienen accesibles los seis puntos del embobinado del motor. El embobinado se conecta primero en estrella, aplicándole un voltaje de $1/\sqrt{3}$ o sea el 50% del voltaje normal. Esto hace que la corriente de línea sea un tercio del valor que tendría si el motor se conectara directamente sobre la línea. Al adquirir el motor suficiente velocidad se conecta el motor en delta. El cambio se logra por medio de un switch de doble tiro, tres polos y el cambio puede ser manual o automático.

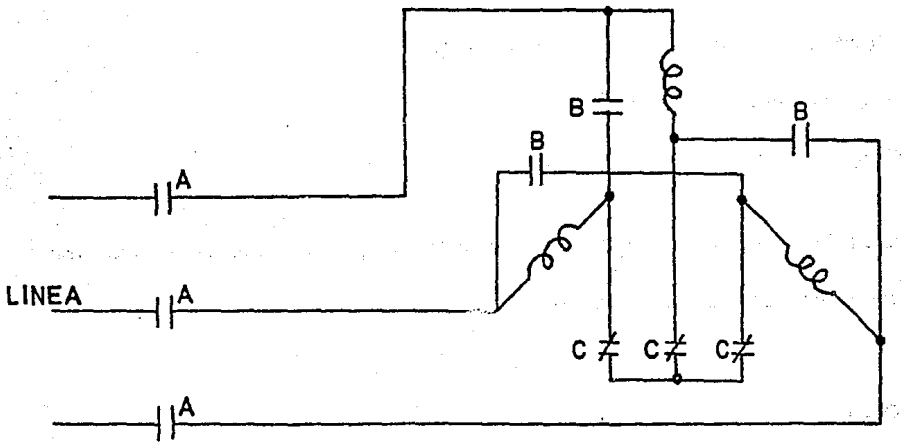
Arrancador Estrella Delta

Voltaje de línea = EL

Voltaje durante el arranque (bobinas en estrella) = $\frac{EL}{1.73}$

Voltaje durante la marcha (bobinas en delta) = EL

Un diagrama simplificado del arrancador sería el mostrado.



El método de intercalar resistencia tiene la ventaja de proporcionar una acelración suave, poniendo en corto circuito derivaciones, sin que el circuito del motor se abra.

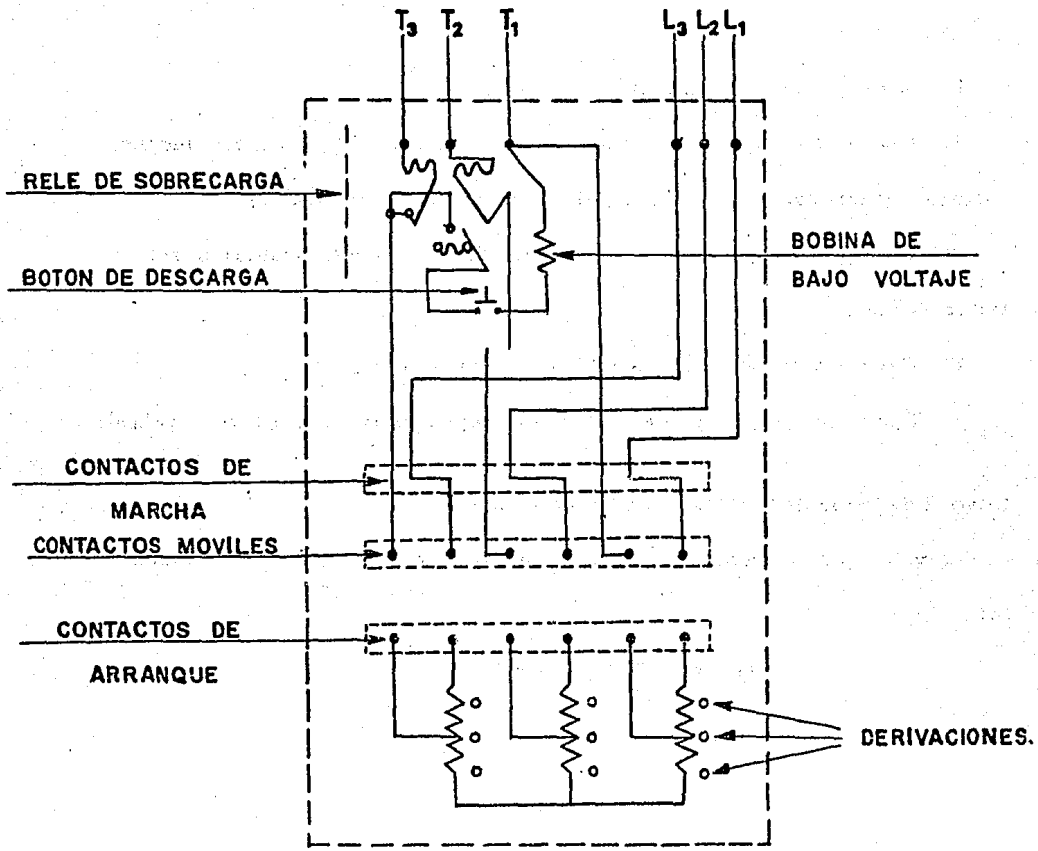
Se puede también intercalar reactancia en serie con el motor, pero no es conveniente poner en corto circuito derivaciones del embobinado cuando están en el mismo núcleo así que el circuito se debe abrir al pasar de una derivación a la otra.

Con ambos procedimientos, el par se reduce con el cuadrado del voltaje a través del motor, pero la corriente en el motor es directamente proporcional al voltaje.

El método del autotransformador, como se vió en la tabla es el que ofrece mayores ventajas y por tanto es el normalmente usado.

Los autotransformadores constan de un autotransformador cuyas 3 bobinas están conectadas en estrella. Cuando la palanca está en la posición

de arranque, el autotransformador queda conectado a la línea, protegido únicamente por los fusibles. En estas condiciones las 3 líneas del motor quedan conectadas a tres derivaciones, una en cada fase del autotransformador; el voltaje se reduce generalmente a la mitad de su valor normal. Cuando la palanca se mueve a la posición de marcha, el autotransformador queda desconectado y el motor opera directamente sobre la línea. Se tienen relevadores de protección contra sobrecarga y bobina de no voltaje. El autotransformador al trabajar a la mitad del voltaje, reduce la corriente de línea a la cuarta parte. El diagrama de un autotransformador es el mostrado.



Motores de inducción de rotor devanado. -

Cuando es necesario arrancar el motor con cargas pesadas o con mucha frecuencia y las líneas de alimentación son afectadas por las perturbaciones causadas por el motor al arrancar, debe preferirse el motor con rotor devanado sobre el de jaula de ardilla.

El costo del motor de rotor devanado, así como el mayor espacio que requiere, su construcción más complicada (del rotor y del control en el rotor) y el hecho de producir chispas en los colectores, limitan el uso de estos motores; así pues, siempre que sea posible, por las características del sistema, deberá usarse el motor de jaula de ardilla.

Las aplicaciones donde el motor de rotor devanado es más adecuado, son las siguientes:

1. - Arranque con perturbación mínima.

2. - Operaciones que requieran cambio de velocidad (grúas, elevadores, motores-generadores con volante, descargadores de minerales).

3. - Operaciones que requieran alto par de arranque (transportadores, trituradoras).

4. - Cargas pulsantes con volante (compresoras de aire).

5. - Operaciones que requieran frenado regenerativo (elevadores, grúas).

Control de velocidad de los motores de inducción. -

La velocidad del rotor de un motor de inducción esta dada por la fórmula:

$$N_2 = \frac{120 \times f}{P} (1-s)$$

Donde f es la frecuencia de la línea en ciclos por segundo, P el número de polos y s el deslizamiento.

De lo anterior se ve que para cambiar la velocidad, deberá variarse por lo menos uno de los factores (f, P o s).

Cambio de frecuencia. - En los sistemas es una constante; este método, con límites se usa sólo en la propulsión de barcos.

Cambio del número de polos. - Cambiando las conexiones del estator de tal manera que cambie el número de polos,. se cambia la velocidad desincronismo y por tanto la velocidad del rotor. El cambio más empleado es de 4 a 8 polos, pero los motores nunca se pueden diseñar para operar satisfactoriamente a las dos velocidades.

Cambio del deslizamiento. - El deslizamiento se puede cambiar introduciendo resistencia en el circuito del rotor, pero se baja la eficiencia y la regulación de velocidad. El método más usado consiste en introducir fuerzas contra electromotrices en lugar de resistencias en el circuito del rotor. Los métodos más empleados son el Kraemer y el Sherbius.

Otro método es el de concatenación, que requiere dos máquinas acopladas de las cuales por lo menos una debe ser de rotor devanado. La velocidad se cambia variando el deslizamiento de un motor, lo que cambia la frecuencia de alimentación al otro motor.

Actualmente los motores de corriente directa son los usados siempre que se requiere un sistema de velocidad variable.

Motor Síncrono.

Se usa para mover cargas a velocidad constante. Tienen la enorme --

ventaja de la facilidad con que se puede controlar su factor de potencia, su alta eficiencia, bajo costo y la posibilidad del frenado dinámico. Sus desventajas son: que requiere una fuente de corriente directa para excitarlo; que su par de arranque es bajo y su sensibilidad a las variaciones en la línea de alimentación.

Las aplicaciones principales de los motores síncronos son: molinos de hule, grandes ventiladores, compresoras de aire amoníaco, trenes de laminación, molinos de bolas, para mover generadores de corriente directa y propulsión de barcos.

El motor síncrono no puede arrancar por sí sólo, primero debe llevársele casi o a la velocidad de sincronismo, antes de que pueda operar. Lo anterior se puede lograr usando un motor de corriente directa como excitador, conectado directamente a la flecha del motor síncrono para llevar a éste a su velocidad y excitando luego su campo. Se puede usar también un motor de inducción acoplado directamente a la flecha del motor síncrono; la velocidad del motor de inducción deberá ser mayor que la del motor síncrono, el motor de inducción se desconecta después mecánicamente. Este método ya casi ha desaparecido.

El método más común es arrancar el motor síncrono como motor de inducción, abriendo su circuito de campo y aplicando un voltaje alterno polifásico al estator; el par de arranque es muy pequeño pero suficiente para arrancar el motor y llevarlo hasta una velocidad muy próxima a la de sincronismo. El par de arranque se puede aumentar en la misma forma que con los motores de inducción, es decir, aumentando resistencia al circuito del rotor.

El hecho de que el factor de potencia de los motores síncronos se pueda variar a voluntad, permite usarlos para corregir el factor de potencia de un sistema, en cuyo caso se les llama "condensadores síncronos"; además de corregir el factor de potencia puede hacerse que el motor lleve alguna carga. El motor síncrono puede usarse también como regulador de voltaje en el final de las líneas de transmisión.

Los motores síncronos son arrancados generalmente con el circuito de campo en corto circuito en serie con la resistencia de descarga. Se aplica voltaje pleno o reducido al estator, produciéndose el par de arranque del rotor en el campo y en el devanado amortiguador, si existe.

Motores de Corriente Directa.

Motores de Velocidad Constante. - Mantienen su velocidad al mismo valor para prácticamente todas las cargas (Motor en derivación).

Motores de velocidad ajustable. - Su velocidad se puede variar (controlar), pero su velocidad para cualquier ajuste es prácticamente invariable con la carga. (Motor en derivación).

Motores de velocidad variable. - Reducen su velocidad al aumentar el par (Motor serie).

Arrancadores. -

Los dos requisitos para arrancar los motores de corriente directa son: a) par máximo y b) protección contra corriente excesiva en la armadura.

El arrancador consta siempre de una resistencia que se pone en serie con la armadura, para limitar la corriente de arranque; en la práctica lo normal es permitir un valor de aproximadamente 2 veces la corriente a plena carga. Esta resistencia se va cortando conforme el motor va acele-

rando. Lo anterior no se aplica a motores fraccionarios de 1/3 de caba-- llo o menos.

Los requisitos básicos son llenados por un aparato llamado "controlador" y que llena las funciones de acelerar, retardar, cerrar la línea, --- protección contra sobrecarga, campos abiertos y falla de voltaje.

Los "controladores" pueden ser manuales y automáticos.

El principio de operación de los manuales, en cualquiera de sus tipos, es el de ir cortando resistencia en la armadura por medio de un brazo que se va avanzando conforme el motor va acelerando y que se retiene en su — posición final por medio de un magneto, para si el campo del motor se abre o si la línea de alimentación falla o baja su voltaje, el magneto quede sin -- energizar y por la acción de un resorte la manija retroceda, desconectando el motor de la línea.

Los controladores automáticos están diseñados para controlar automáticamente la aceleración del motor, lo cual se hace generalmente desde - una estación de botones

Los controladores operan sobre uno de los tres principios siguientes:- a) aceleración por fuerza contra electromotriz; b) aceleración por limitación de corriente; y c) aceleración por límite de tiempo. Todas las funciones básicas se ejecutan por medio de electromagnetos por lo que a estos controladores se les llama "controladores magnéticos".

Los arrancadores por fuerza contra electromotriz emplean la fuerza - contra electromotriz desarrollada en la armadura para efectuar la operación de los relevadores magnéticos, los que a su vez controlan la resis--- tencia en serie con la armadura.

Estos arrancadores son sencillos en su construcción y tienen un mínimo de partes. No son recomendables para el arranque de motores con grandes cargas o donde las fluctuaciones de voltaje sean grandes. Su uso se limita generalmente hasta motores de 20 caballos.

Los arrancadores automáticos por limitación de corriente funcionan por medio de relevadores de corriente que operan cuando la corriente de aceleración baja del valor de plena carga.

Estos arrancadores son más costosos y complicados y se emplean cuando se quieren arrancar cargas de gran inercia.

Los arrancadores automáticos de aceleración por límite de tiempo, constan de un control de pasos actuado por medio de relevadores de tiempo retardado y en su funcionamiento no interviene la fuerza contra electromotriz de armadura, o la corriente.

Estos arrancadores trabajan bien en grandes motores en los que se requiere rápida aceleración, paroe inversión, como en los molinos de acero.

A cualquiera de los arrancadores anteriores se les pueden agregar aditamentos especiales como la resistencia de descarga de campo y el freno dinámico.

La resistencia de descarga consiste en una resistencia de gran valor en paralelo con el campo, ya que al abrir repentinamente el campo la relación de cambio de la corriente y flujo ($E=-L\ di/dt$) puede ser lo suficientemente grande para causar un voltaje inducido que dañe el aislamiento de las bobinas de campo.

El freno dinámico utiliza la acción generadora del motor al desacelerar, para enarlo rápidamente. Mientras opera como generador se le aplica una resistencia a la armadura, con uno o más pasos hasta llegar a cero, haciendo que el motor frene con rapidez.

Control de la velocidad. - Los métodos de control de la velocidad se derivan directamente de la ecuación fundamental de la velocidad para motores de corriente directa.

$$n = \frac{V - I_a r_s}{K_1 \phi Z_a}$$, siendo rs la resistencia del circuito de la armadura.

Los cuatro métodos consisten en hacer variar a rs, ϕ, V y Za.

El resumen de las características y aplicaciones de los métodos principales se da en la tabla siguiente:

METODO	RANGO DE VELOCIDAD	REGULACION	EFICIENCIA	COSTO	CLASIFICACION	APLICACION
Resistencia en el circuito de campo.	5 - 1 motores chicos 2 - 1 motores grandes	muy buena	Alta para todas las velocidades	Bajo para motores de 1-25 CF	Velocidad constante ajustable; potencia constante.	Para motores de 1 a 25 CF donde se requiere velocidad constante de rango 5 - 1
Resistencia en el circuito de la armadura.	o-normal	mala	Baja para bajas velocidades.	Bajo	Velocidad variable.	Usos de emergencia, motores pequeños.
Resistencia en la línea	Ninguna para mot. en derivación; grande para mot. serie.	mala	Baja para bajas velocidades	Bajo	Velocidad variable; par constante.	Arranque y control de velocidad de motores serie
Sistema Ward Leonard fundamental	120-1	excelente	variable	Alto	Velocidad constante ajustable	Elevadores; propulsión para molinos de papel y textiles
Sist. Ward Leonard para máquinas en derivación autoexcitadas	12 - 1	buena	variable	Alto	C. F. constantes	Máquinas herramientas con propulsión por medio de árbol.
Máquinas Ward Leonard en serie	10 - 1	buena	variable	Alto	Par constante	Transportadores; motores para máquinas herramientas

c) CALEFACCION Y REFRIGERACION.

Actualmente se tiene la tendencia, especialmente en los países o ciudades con climas extremisos, de usar el aire acondicionado no sólo en las industrias en que el proceso lo requiere, sino en general en todas, con objeto de lograr un mejor rendimiento del personal, al trabajar éste en condiciones ideales de ambiente.

El "aire acondicionado" se define como "el control de la temperatura, humedad y limpieza en el interior de cualquier local".

Entre los procesos que por su misma naturaleza requieren el uso del aire acondicionado y especialmente de la refrigeración, podemos citar los siguientes: preservación de alimentos, manufactura del hielo, refinerías de petróleo, tratamiento del acero, manufactura de dulces y productos químicos, etc.

La cantidad de refrigeración se mide generalmente en B t u para un peso dado de refrigerante o en B t u por minuto. Sin embargo, esta unidad resulta demasiado pequeña para usarla en las unidades comerciales, por lo que se recurre a las llamadas "toneladas de refrigeración", que son los B t u necesarios para convertir una tonelada de agua a 32°F a hielo a 32°F. El calor de fusión del hielo es de aproximadamente 144 B t u por libra, por lo tanto, para convertir 2,000 libras de agua a hielo se requerirán 2000x144 o sea 288,000 B t u, que es a lo que se llama una "tonelada standard de refrigeración".

Los motores empleados para lograr la refrigeración por cualquiera de los métodos en uso actualmente, son eléctricos.

En un edificio de oficinas con aire acondicionado, la carga de éste puede representar hasta un 40% de la carga total del edificio.

Es muy importante que al proyectarse el sistema eléctrico se consulte al - encargado del proyecto de aire acondicionado para determinar las cargas que- se tendrán, así como la capacidad y método de arranque de los motores mayo- res.

La carga del sistema de aire acondicionado está representada principalmen- te por los motores para las compresoras, bombas para agua fría, bombas para condensado, ventiladores para distribución del aire, etc. Para el propósito de una estimación del valor de la carga se puede suponer que una tonelada de re-- frigeración requiere de un caballo de potencia en motores, del cual un 55 a 70% está representado por el compresor o la unidad de refrigeración, y el resto co- rresponderá al equipo auxiliar como abanicos y bombas auxiliares. Se acostum- bra pues aplicar un factor de 1.6 a 2.0 a las toneladas de refrigeración para ob- tener la carga total que representará el sistema.

Cuando se usa la electricidad como fuente de energía para la calefacción, - se deberá considerar la carga representada por ésta con mucho cuidado, ya que puede representar valores grandes que influirán en la carga total y en el siste- ma de distribución.

La calefacción se logra actualmente por medio de resistencias o por medio de bombas de calor. En los calentadores por resistencia, el calor es generado por el paso de la corriente a través de los elementos o materiales que actúan -- como resistencia; en las bombas de calor se logra el intercambio de calor de - un medio, como aire o agua, al espacio que se trata de calentar.

Para obtener los kilowatts necesarios para calentar determinado espacio, es necesario calcular los Btu de pérdidas por hora y dividirlos entre 3413. que

es el calor en B tu generado por un kilowatt de electricidad. A esta carga se le aplica generalmente un factor de demanda de 100%.

PROYECTO DE LA INSTALACION

Al proyectar una instalación eléctrica se debe usar la ingeniería en todo lo posible, así como el mejor sentido común para resolver los problemas característicos de cada instalación, en el curso de esta tesis se delinearán las bases para elaborar un proyecto en general, debiéndose en cada caso particular hacer las correcciones que se requieran.

Para elaborar un proyecto adecuado y al menor costo posible, debe pensarse en un conjunto y no sólo en las partes que lo componen. Con objeto de visualizar mejor lo anterior, es indispensable trazar un diagrama de la planta y sobre él mostrar a escala la localización de las diferentes cargas, de acuerdo con el ingeniero de la planta, para ver que cada pieza engrane en el proyecto final.

Algunos de los aspectos más importantes que deben tenerse en mente al efectuar el proyecto son los siguientes:

a) Seguridad. - Debe pensarse que la energía eléctrica es peligrosa y que se tiene en todas las áreas de la planta. En este aspecto no debe dejarse nada que pueda producir un accidente en el personal; no hay precio que pague una vida, por lo que el aspecto de seguridad deberá siempre ir antes que el de economía. Hay tres reglas fundamentales de seguridad que deben considerarse:

1. - Encerrar todas las partes vivas en tubo,

2. - Usar solamente equipo de protección adecuado,

3. - Proyectar el sistema de modo que nunca sea necesario trabajar en circuitos energizados.

b) Aspecto Económico. - Este es un aspecto que no debe nunca perderse de vista al proyectar un sistema. El proyectista deberá tratar de tener la mejor instalación eléctrica al menor costo posible. No siempre se logra el proyecto más económico al primer intento, deberá de pensarse no sólo en el costo del material, sino en el costo de su instalación y mantenimiento; deberán compararse todas las diferentes posibilidades para tener una instalación correcta y de ellas seleccionar las más económica. La economía debe referirse tanto a la instalación como al funcionamiento de la planta; en este último aspecto, debe considerarse el pago de la energía eléctrica y no perder de vista las pérdidas por resistencia en los alimentadores a baja tensión, lo cual debe compararse contra el costo de subestaciones localizadas convenientemente de acuerdo con los centros de carga.

c) Crecimiento y Flexibilidad. - Pocas veces se puede prever completamente el crecimiento que tendrá una industria, pero siempre deberá pensarse que va a crecer y que por tanto sus necesidades de energía eléctrica aumentarán, ya sea porque la industria se amplíe o porque se agregue equipo en las áreas existentes. Si lo anterior no se tiene en cuenta se tropezará con muchas dificultades y se tendrá que recurrir a improvisaciones al requerirse instalar nuevas cargas. Deberá dejarse posibilidad para ampliaciones en la subestación, dejando espacio para añadir transformadores; en el interruptor general; en los alimentadores, dejando tuberías o ductos vacíos en las áreas donde la carga pueda aumentar o a las futuras áreas en las cuales se tenga la -

posibilidad de construcción futura; en los tableros, tanto en la subestación como en los derivados, dejando capacidad en el interruptor general y espacios vacíos.

Debe pensarse también que así como las plantas tienden a aumentar su producción, también tienden a cambiar sus procesos y que las instalaciones deben tener posibilidad de adaptarse a estos cambios sin tener que hacer mucha inversión y causando el mínimo trastorno a la producción.

Hay dos puntos que ayudan a tener flexibilidad en una planta:

1) La posible adición de pequeñas subestaciones en los nuevos centros de carga, y

2) El uso de ductos de enchufar que permite una instalación permanente del sistema de distribución, sin importar la localización del equipo.

d) Simplicidad y Mantenimiento. - Estos son dos aspectos que siempre van íntimamente ligados: a mayor simplicidad en la instalación, menos mantenimiento requerirá. Los sistemas sencillos son más fáciles de operar tanto en condiciones normales como en emergencias.

El equipo deberá ser del tipo reemplazable lo más parcialmente posible y ésto deberá poder hacerse causando el mínimo de interferencia con el resto del sistema. Cuando las condiciones del sistema son tales que no permitan una interrupción en el servicio, deberá tenerse alimentación duplicada hasta la carga.

e) Selección del Equipo. - Al conocerse las necesidades exactas de una planta, de acuerdo con el ingeniero de proceso, deberá seleccionarse

el equipo más adecuado empezando por los motores, control de los --- mismos, alimentadores, equipo de protección, etc., hasta llegar a la- subestación.

Al seleccionar el equipo deberá considerarse lo siguiente:

Usar sólo equipo de gabinetes;

Usar lo más posible, equipo armado de fábrica para facilitar su insta-- lación y evitar improvisaciones en el campo;

Asegurarse que las especificaciones del equipo sean correctas en todos sus aspectos: voltaje, corriente, capacidad interruptiva, etc.

RED DE DISTRIBUCION

Entenderemos por "red de distribución" a la combinación coordinada de diferentes dispositivos eléctricos que transmiten la energía desde el punto de recepción (si es alimentada por alguna Compañía Suministradora), o desde el punto de generación (si se tiene generación propia), hasta los puntos de utilización.

Por lo general en la industria se debe recurrir a una subestación para reducir la tensión a un voltaje apropiado para su utilización; este punto será tratado en el siguiente capítulo.

Los requisitos de un sistema son:

1. Que la energía sea aprovechable: ésto depende de las características del equipo que se va a emplear, tales como tensión, frecuencia, número de fases, corriente directa o alterna, etc.
2. La capacidad del sistema debe ser suficiente: debe ser capaz de manejar la demanda máxima de la planta, incluyendo la carga de alumbrado y tener capacidad o por lo menos facilidad para futuras ampliaciones.
3. Tener energía donde se requiere y en forma continuada: debe ser capaz el sistema de llevar la energía hasta el punto de su utilización a través de ductos o conduit, en una forma constante; dependiendo del tipo de industria deberá seleccionarse el sistema de distribución para dar la continuidad requerida.
4. Debe tener flexibilidad: las fábricas siempre tienden a ampliarse y cada determinado tiempo cambian sus sistemas de producción; la red de distribución debe proyectarse para afrontar lo anterior con el mínimo de-

inversión y con el mínimo de entorpecimiento en la producción.

5. Ofrecer el máximo de protección al personal y al equipo: deben tenerse las mayores precauciones para prever y evitar errores de operación, así como encerrar cualquier equipo o línea que estén o puedan energizarse.
6. Ofrecer protección automática a los circuitos y equipos contra condiciones anormales de funcionamiento o debidas a fenómenos naturales: lo anterior se logra mediante la correcta selección de los dispositivos contra corto circuito, sobrecarga y apartarrayos.

Al proyectar una red de distribución deben tenerse en mente los puntos anteriores y aplicar, de acuerdo con las necesidades particulares, la siguiente guía:

1. Obtener un diagrama general de la planta y marcar en él la posición de las cargas más importantes, con sus valores en caballos de potencia y kilowatts.
2. Estimar la carga de alumbrado, aire acondicionado y otras. Lo anterior se puede hacer basándose en tablas que muestran estas cargas de acuerdo con el tipo de industria, por unidad de producción o por área de trabajo.
3. Determinar la carga total conectada y calcular la máxima demanda, aplicando los factores de demanda y diversidad apropiados de acuerdo con el tipo de industria y considerando las cargas eventuales como arranque de grandes motores, operación de soldadoras, motores con determinado ciclo de trabajo como los auxiliares de calderas, de bombas de agua, etc.

4. Con lo anterior se puede seleccionar uno o más sistemas de distribución. Elabórese un diagrama unifilar de ellos.

5. Obténgase la información necesaria de la Compañía Suministradora --- respecto al voltaje de entrega, capacidad interruptiva necesaria, etc.

Respecto al voltaje de entrega en el D. F. el de 6 KV se está "congelando", es decir, no se está haciendo ningún trabajo nuevo para distribuir a esta tensión y para cargas de 500 KVA o más (excepto en zonas de 6 KV y que requieran una línea muy larga), el voltaje es de 20 KV para pasar --- próximamente a 22.9 KV, exigiéndose una capacidad interruptiva mínima de 1,000 MVA. En los estados aún es frecuente la distribución a 13.2 KV.

6. Se deberá hacer un análisis de costos y ventajas para seleccionar el -- nivel de voltaje apropiado, deberá incluírse en este estudio también el equipo, es decir motores y controles, además de las líneas, tableros, - etc.

7. Revisar las capacidades interruptivas del equipo en todos los puntos -- del sistema y la selectividad de las protecciones.

8. En los puntos críticos revisar las caídas de voltaje. El Reglamento de Obras especifica una caída máxima desde la entrada del servicio hasta el último punto de la canalización de 4% para motores y 3% para alumbrado.

9. Revisar que todo el proyecto ofrezca el máximo de seguridad y se apegue en todo a lo prescrito por el Reglamento de Obras.

10. Escribir las especificaciones de todos los materiales y equipo y dibujar todos los diagramas auxiliares que sean necesarios para aclarar puntos.

11. Asegúrese que toda la red de distribución sea adecuada para ampliaciones, tanto en capacidad de corriente como en capacidad interruptiva.

Selección del Voltaje. -

La selección del voltaje es uno de los problemas principales en el proyecto de un sistema de distribución ya que está íntimamente ligado con el costo total del sistema, principalmente en lo referente a equipo, flexibilidad y facilidad para ampliarse.

Los factores que afectan la selección del voltaje son:

1. Voltaje de entrega de la compañía.
2. Magnitud de la carga.
3. Distancia a la que se lleva.
4. Voltaje de utilización del equipo.
5. Seguridad.
6. Aplicación del Reglamento.

Los alimentadores de subtransmisión son generalmente de 69, 34.5 o 24.5 KV, en estos casos existe una subestación entre la línea y el sistema de distribución industrial.

Los voltajes de distribución secundaria son de 2.4, 4.16, 6, 13.2 y actualmente en el Distrito Federal 20 KV. Si se va a tomar la energía de una línea de subtransmisión, el voltaje del secundario de la subestación será uno de esos valores.

La magnitud de la carga tiene poco efecto en la selección de voltaje en sistemas de 600 volts o menos, excepto cuando la planta es compacta o para cargas muy concentradas, entonces este factor es determinante en el

voltaje de distribución.

La distancia a la que se lleva la energía no afecta grandemente la decisión en los sistemas de 600 volts, pero sí es importante en la distribución para grandes cargas localizadas a distancia de la planta principal.

El voltaje de utilización del equipo es sumamente importante en la selección del voltaje y en las fábricas de tamaño medio puede ser el factor determinante.

Cuando la carga está representada en su mayor parte por alumbrado, motores fraccionarios y herramientas de mano, que generalmente trabajan a 110 o 120 volts, entonces lo más indicado es tener 220 volts en el secundario del transformador.

Los motores polifásicos se tienen desde 220 hasta 13,200 volts; desde el punto de vista de diseño y costo, para menos de 200 H.P. la tensión más conveniente es de 440 volts (550 se usa cada vez menos); motores mayores de 200 H.P. se tienen desde 2,300 hasta 13,800 volts.

Muchos hornos no pueden construírse económicamente para voltajes arriba de 240 volts. Los grandes hornos de arco están limitados a 34.5 KV debido principalmente al interruptor necesario.

El factor seguridad es de gran importancia cuando se prevee que el personal puede estar en determinado momento en contacto con partes vivas, como sucede en donde se tienen herramientas portátiles y especialmente cuando las cubiertas no están aterrizadas. Se ha verificado que voltajes superiores a 50 volts a tierra pueden resultar mortales, por lo que en estos casos el equipo se usa a 32 volts; aún cuando la posibilidad de electrocución

aumenta con el voltaje, la elección entre 220 y 440 volts deberá hacerse -- basándose en los otros factores pues en ambos casos resulta peligroso para el personal cualquier contacto con estas tensiones y por tanto no debe dejarse en ningún lugar la posibilidad de contacto con ellos o que el personal trabaje sobre circuitos energizados.

Respecto al voltaje permisible el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas especifica lo siguiente:

66-8.- "Todas las partes vivas que operen con un voltaje entre conductores de más de 600 volts deben estar protegidas por medio de defensas apropiadas, a menos que estén instaladas a una altura mínima sobre el piso o una distancia horizontal especificadas" (tabla No.- 19).

66-13.- "El forro aislante de partes vivas no deberá considerarse como -- protección a más de 750 volts a tierra".

5-5.- "En establecimientos industriales el voltaje puede ser hasta de 300 volts a tierra para circuitos derivados que abastezcan únicamente unidades de alumbrado colocadas a más de 2.40 mts. de altura y - que no contengan interruptores como parte integrante de las unidades".

Selección de Circuitos.-

Hay una gran variedad de posibles arreglos de los circuitos en alta tensión, sin embargo los más usados pueden clasificarse dentro de alguno de - los siguientes grupos:

1.- Radial.

2.- Selectivo en el primario.

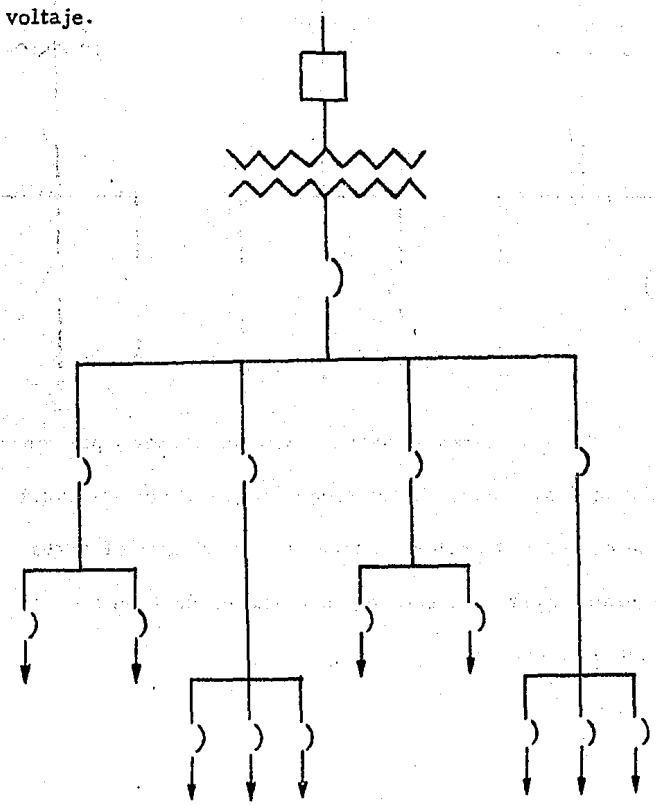
3.- Selectivo en el secundario.

4.- Anillo de alta tensión.

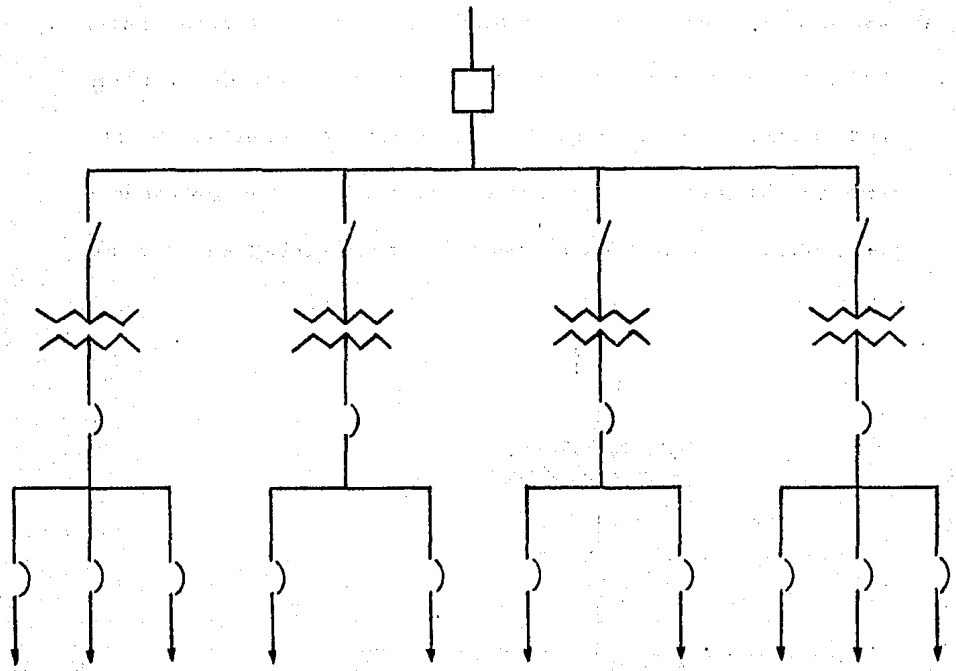
En todos los arreglos se procura dar al sistema la mayor flexibilidad, continuidad y seguridad, al menor costo posible; las características principales de cada uno de los sistemas son las siguientes:

1. Radial.-

a) Simple: es un sistema realmente sencillo pero su uso queda limitado a plantas con las cargas relativamente concentradas; tiene altas corrientes de corto circuito por lo que los interruptores deben ser de alta capacidad y alta corriente. Los alimentadores deben ser largos por lo que resultan más costosos y la regulación es mala debido a la caída de voltaje.



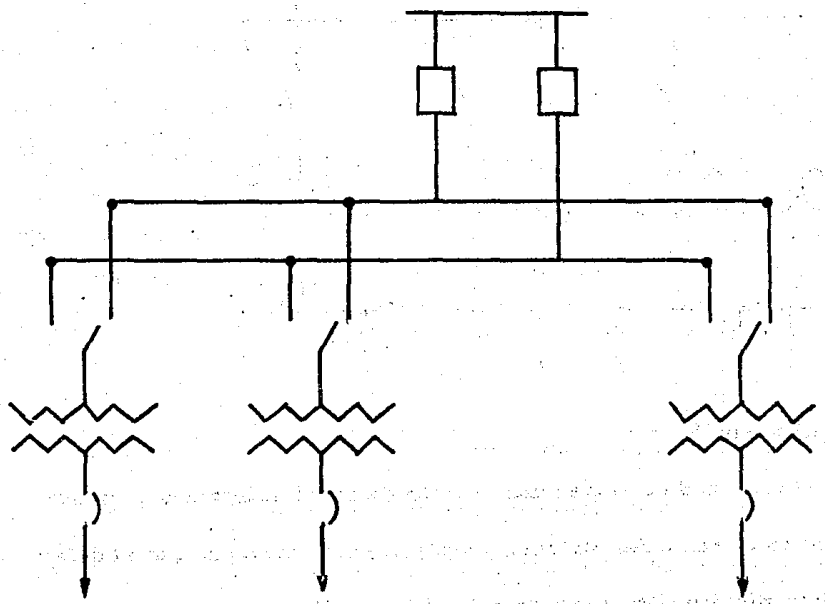
b) Con centros de carga: este sistema es el más usado actualmente y aunque cada transformador tiene un sólo alimentador, la posibilidad de falla tanto del alimentador como del transformador es mínima, y con el uso actual de cable de alta tensión con forro de hule que no requiere mufas, la posibilidad de falla es aún menor.



En este arreglo los alimentadores de baja tensión son cortos y por tanto la regulación y las pérdidas son moderadas; puesto que la potencia total de la planta se divide en varios transformadores, las corrientes de cortocircuito se reducen grandemente y el equipo puede ser de mucho menor interrupción y corriente normal.

2. Selectivo en el primario.

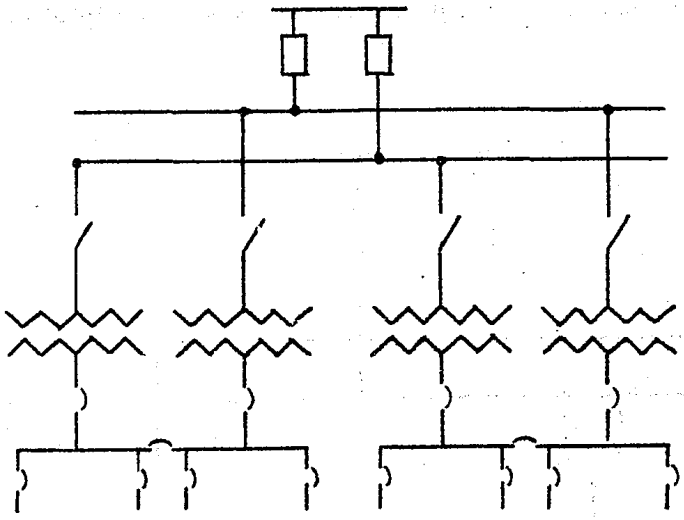
Dos alimentadores primarios llegan a cada transformador y por tanto se requiere un interruptor para seleccionar el alimentador que se quiere que alimente a la subestación; los dos alimentadores primarios deben tener capacidad suficiente para llevar la carga total. Su costo es aproximadamente 10% mayor que el del arreglo anterior, pero su flexibilidad es mayor.



3.- Selectivo en el secundario.-

Este arreglo requiere dos circuitos alimentadores primarios y dos transformadores para proporcionar la carga a cada centro de carga; permite una rápida restauración del servicio por falla del alimentador primario o del transformador; se requiere también un interruptor de amarre en el lado de baja tensión con un interlock que permita sólo la operación de

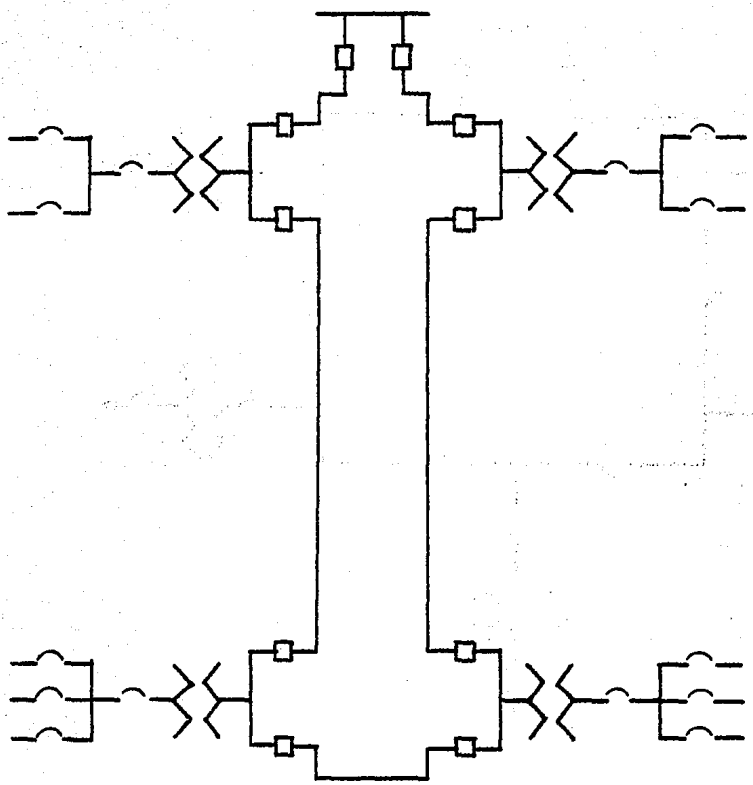
uno de los dos interruptores generales y el de amarre. Este arreglo es - bastante más costoso (aproximadamente 50% que cualquiera de los ante--- riores, dependiendo también de la capacidad de reserva que se desee en - los transformadores.



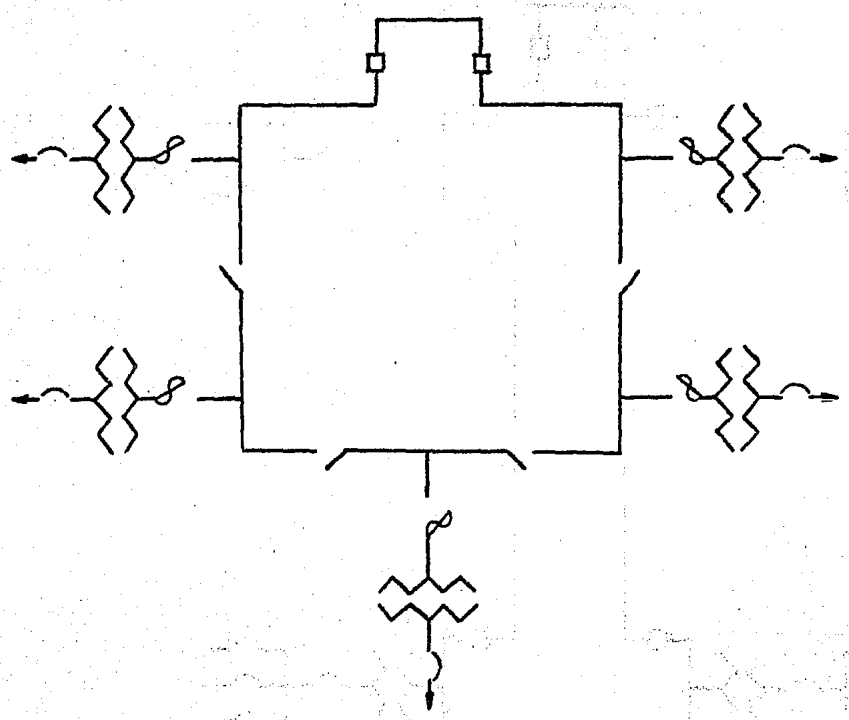
4. Anillo de alta tensión. -

En este sistema puede aislarse una sección de cable defectuoso y reanudar el servicio en el resto del sistema; es posible sin embargo, que el defecto no se localice rápidamente y entonces la interrupción general es larga; - para evitar lo anterior puede dotarse a los interruptores de una protección direccional para que la seccionalización del tramo defectuoso sea automática. Con lo anterior se eleva el costo del sistema desproporcionadamente y además sin los interruptores y la protección seccionalizante el sistema - es más peligroso y con mayor corriente de corto circuito que el radial.

El anillo de alta tensión se puede usar con mayor ventaja cuando la red de distribución es aérea, poniendo cuchillas seccionadoras en lugares es--



tratégicos para poder revisar y reparar el tramo dañado (que es fácil localizar ya que se tiene a la vista), alimentando el resto del sistema por el otro lado del anillo.



Determinación de la Carga. -

La determinación de la carga es un problema básico para el proyecto -- del sistema de distribución y para la capacidad de la subestación o los cen-- tros de carga; el excederse en la estimación de la carga trae consigo una -- inversión no aprovechada en la capacidad de los transformadores, alimentadores y tableros, pero por el otro lado, si la estimación resulta insuficiente para la carga o no hay capacidad suficiente para las ampliaciones, entonces el problema se vuelve más grave ya que el aumentar la capacidad de -- transformación siempre resulta muy caro y generalmente se interfiere con la producción.

El estimar la carga resulta bastante difícil, especialmente en plantas - que se van a instalar ya que el sistema eléctrico se proyecta cuando el --- equipo todavía no está completamente determinado y la mayoría de las veces se hacen cambios en el mismo por encontrarse sistemas o equipos -- más adecuados. El problema debe resolverse haciendo una estimación lo más aproximada posible y recurriendo además a los datos que puedan encontrarse sobre otras plantas iguales; se deberá discutir con el ingeniero de proceso o el gerente de producción acerca de la programación del trabajo de los diferentes departamentos para determinar lo mejor posible los factores de demanda. Generalmente es conveniente estudiar las cargas de alumbrado y de fuerza por separado y después combinarlas para determinar la demanda en una área específica ya que la tendencia actual es alimentar ambas cargas desde una misma subestación unitaria. La carga en una planta se expresa generalmente en términos de la "densidad de carga" --- (volt-amperes por metro cuadrado), considerando diferentes densidades - de carga para las diferentes secciones de la planta como áreas de oficinas, de bodega, de taller, de fabricación, etc.

Los dos factores más empleados para determinar la carga son:

Factor de Demanda:- Es la relación de la demanda máxima en un sistema a la carga total conectada en el sistema.

$$\text{Factor de Demanda} = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{carga total conectada}}$$

La demanda máxima es la lectura máxima integrada en un período de 15 a 30 minutos.

Factor de Diversidad: - Es la relación de la suma de las demandas máximas

individuales de las varias partes de un sistema a la demanda máxima total del sistema.

$$\text{Factor de Diversidad} = \frac{\Sigma \text{ Demandas máxima de cada parte}}{\text{Demanda máxima del sistema}}$$

El factor de diversidad siempre es un número mayor de uno. En la actualidad casi no se aplica el factor de diversidad para sacar la capacidad de transformación ya que se supone que el sobrante de capacidad será rápidamente absorbido por la capacidad requerida por las ampliaciones.

Carga de Alumbrado. -

Estimar la carga de alumbrado no es generalmente un problema, pues conociendo el área por iluminar, el nivel requerido (de acuerdo con el proceso que se vaya a efectuar en cada departamento) y el tipo de alumbrado que se vaya a emplear (mercurio, fluorescente o incandescente), se puede determinar con bastante aproximación la carga que ésto representa.

Por otra parte la carga de alumbrado en una industria representa solamente un 3 a 25% de la carga total, por lo que un error en este cálculo no es de grandes consecuencias; el factor de demanda para el alumbrado deberá considerarse como de 100% y el factor de diversidad muy próximo a 1.

Carga de Fuerza. -

La estimación de la carga de fuerza es generalmente más difícil que la de alumbrado, tanto por ser la de fuerza mucho mayor como por lo incierto generalmente de las capacidades del equipo y de su forma de trabajar para aplicar correctamente los factores de demanda.

Cuando se conocen o se han determinado las cargas individuales de las

máquinas o de las diferentes áreas de la planta, es necesario combinarlas para obtener una demanda total aplicando los factores correspondientes; — estos factores no son tan difíciles de aplicar ya que cada subestación da -- servicio a una área relativamente pequeña. Por ejemplo en un alimenta-- dor, la carga conectada a él deberá multiplicarse por el factor de demanda para obtener la capacidad de este alimentador y la suma de las demandas - de los diferentes alimentadores deberán dividirse entre el factor de diver- sidad para obtener la capacidad de la subestación; como se mencionó al -- principio muchas veces es preferible no usar el factor de diversidad con - objeto de tener capacidad en los transformadores para futuras ampliaciones. La selección de los factores y la densidad de carga son cifras que deben ba- sarse en las condiciones existentes en cada caso o en las experiencias de - otras plantas similares en o peración; a continuación se dan algunos valo-- res promedio del factor de demanda en diferentes tipos de plantas:

Tipo de Carga	Factor de Demanda %
Hornos de arco	100
" " inducción	80
Soldadoras	30
Alumbrado	100
Motores:	
1. Para usos generales, máquinas herramientas, compresoras, ventiladores, molinos de rodillos, bombas, etc.	30
2. Procesos semi-contínuos, molinos de papel, refinerías, molinos de hule, etc.	60
3. Procesos contínuos, estampadoras textiles, plantas químicas, etc.	90

Las cargas se pueden agrupar por áreas de 500 a 1500 KVA, tomando en consideración los factores de demanda, y a partir de estos grupos determi- nar los arreglos de circuitos y voltaje más convenientes para las diferentes

subestaciones.

Protección.

La protección aplicada a un sistema o circuito eléctrico implica el alivio de las condiciones anormales por medio de dispositivos especiales sensibles a las variaciones y que operan aislando al circuito o aparato para impedir que siga transmitiendo energía. La protección se refiere generalmente a protección contra corto circuito y sobrecarga principalmente y se puede extender a protección contra sobre voltaje, bajo voltaje, falla de fase, etc.

El objeto de la protección es dar el máximo de seguridad causando el mínimo de daños al sistema y hacer lo anterior en la forma más adecuada; entre los requisitos que deben llenar los dispositivos podemos enumerar los siguientes:

1.- Detección de las fallas, energizando al dispositivo con su presencia, generalmente detectando un aumento en la corriente.

2.- Interrupción de las fallas, aislando al circuito afectado.

3.- Capacidad interruptiva y capacidad momentánea adecuada. Todos los interruptores y fusibles tienen una capacidad interruptiva máxima y para corrientes arriba de este valor el arco se puede sostener a través de los contactores, por lo que se continúa alimentando al circuito en falla y exponiendo además a serios daños al dispositivo, que puede poner en peligro a las personas y propiedades cercanas a él.

4.- Selección y coordinación correcta entre los diferentes dispositivos de protección ya que la mayoría de las veces se tienen varias proteccio--

nes en serie que pueden operar para aislar la falla, es necesario que la coordinación tiempo-corriente de estos aditamentos sea correcta para reducir al mínimo el área y tiempo en las que subsista la falla.

Las causas más comunes de las fallas ya sea en los circuitos alimentadores o en los aparatos son:

a) Sobrecarga contínua en los alimentadores o motores, haciendo que el aislamiento se dañe y llegue a ponerse en contacto a tierra o con otros conductores.

b) Accidentes, inundaciones, incendios, etc. que pueden dañar los aislamientos o dejar elementos metálicos ajenos, en contacto con partes vivas.

c) Agentes exteriores como humedad, gases, etc., que dañan el aislamiento.

d) Mantenimiento inadecuado y errores humanos.

e) Aumentos súbitos en el voltaje ya sea por causas exteriores (rayos) o por contacto con líneas de mayor voltaje.

La "cantidad" y "calidad" de protección varían de acuerdo con el tipo de planta de que se trate; hay plantas de proceso contínuo que no pueden sufrir ninguna interrupción (plantas químicas, fábricas de papel) mientras en otras (industrias con máquinas herramientas) una interrupción sólo representa una determinada pérdida en la producción.

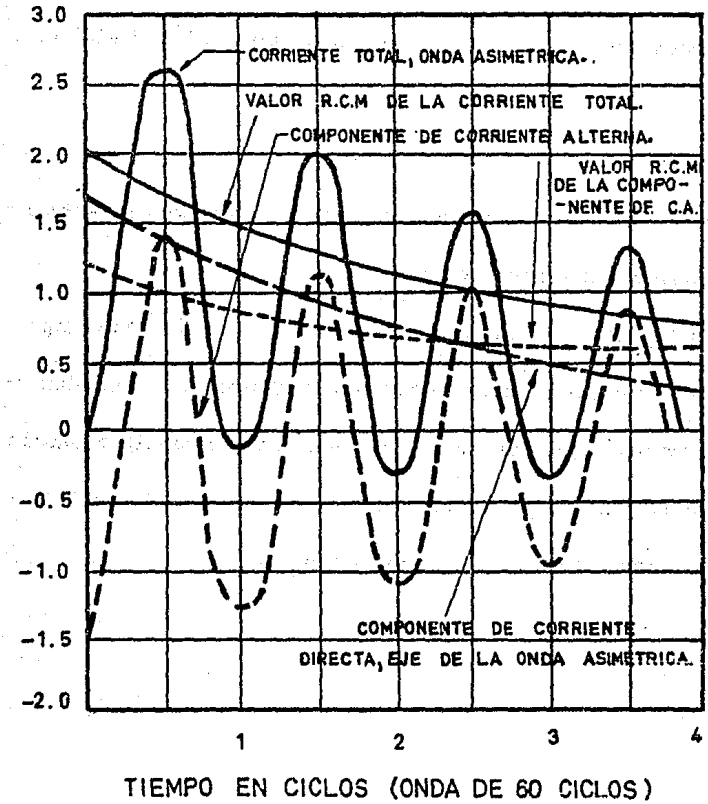
Corto Circuito.-

Al ocurrir un corto circuito se crea un nuevo circuito por el que fluye -

la corriente a través de todos los conductores en el punto de falla, desde los generadores; esta corriente está limitada únicamente por la impedancia de los circuitos y del equipo desde el punto de generación, hasta el punto de falla y es independiente de la carga en el sistema. La corriente se determina aplicando la ley de Ohm

$$I_{cc} = \frac{E}{Z}$$

Al cerrar un circuito de corriente alterna, en general, el valor inicial de la corriente es altoy decrece rápidamente hacia su valor (E/Z); la rapidez de decrecimiento depende del radio $\frac{X}{R}$ del circuito. La onda resultante se puede descomponer en una exponencial decreciente de corriente directa superpuesta a una senoidal de corriente alterna.



La corriente que circula a la falla proviene básicamente de tres fuentes: generadores, motores síncronos y motores de inducción; la corriente que -- cada uno proporciona a un corto circuito en sus terminales está limitada por la impedancia de la máquina.

La corriente de corto circuito de un generador decrece exponencialmente desde un valor relativamente alto hasta un valor constante más o menos - bajo después de la iniciación de la falla, ya que el generador está movido -- por un primotor externo y su campo excitado por una fuente exterior, el valor constante de la corriente de falla persistirá hasta que el generador pare o sea aislado del sistema.

Para el propósito del cálculo de corrientes de corto circuito, la reactancia variable de un generador puede ser representada por tres valores:

x''d Reactancia subtransitoria, determina la corriente durante el primer -- ciclo después de ocurrir la falla; aproximadamente 0.1 segundos des--- pués el valor aumenta de acuerdo con

x'd Reactancia Transitoria, la cual cambia en 1/2 a 2 segundos a

xd Reactancia Síncrona, que es el valor que determina la corriente después de haberse alcanzado el valor constante.

Para calcular los interruptores o fusibles, que actúan antes de que la - corriente llegue a su valor constante, la xd no se usa casi nunca.

Los motores síncronos proporcionan corriente de falla en una forma parecida a los generadores; al abatirse el voltaje debido a un corto circuito, - el motor recibe menos potencia del sistema pero el voltaje interno hace que circule corriente hacia la falla ya que la inercia del rotor hace que la má--

quina siga girando y con el campo excitado el motor actúa como generador; esta corriente disminuye conforme el motor va parando, hasta llegar a cero.

La misma designación se usa para la reactancia de los motores, pero sus valores son diferentes que para los generadores.

Los motores de inducción proporcionan corriente de corto circuito ya que la inercia de los mismos después de ocurrir la falla, hace que se comporten como generadores, excitándose su campo por inducción del estator. La contribución desaparece completamente al decaer el flujo ya que el voltaje de la fuente decae y su aportación sólo dura unos cuantos ciclos.

Para los motores de inducción, ya que su contribución no llega a estabilizarse en un valor constante como en los alternadores, sólo se considera la $x''d$; este valor es aproximadamente igual a su reactancia con rotor bloqueado por lo que su contribución de corriente al corto circuito es aproximadamente igual a la corriente de arranque a voltaje pleno.

Diferentes tipos de corto circuito.-

La ley de Ohm, $I = E/Z$ nos da la relación para encontrar la corriente de falla, siendo E el voltaje al neutro (voltaje de línea/$\sqrt{3}$) en el punto de falla y Z es la impedancia desde la fuente hasta el punto de falla, incluyendo la impedancia de la fuente. Hay sistemas muy rigurosos para calcular la corriente de corto circuito pero en la práctica se ha demostrado que se pueden hacer simplificaciones que desvirtúan poco los resultados y en cambio ahorran mucho en cálculos.

En el cálculo usual de corriente de corto circuito, se supone que la falla tiene una impedancia de valor cero, estos cálculos se hacen para determinar el valor máximo de corriente para seleccionar el equipo con la capacidad interruptiva y momentánea adecuadas. El corto circuito trifásico es generalmente el único que se calcula ya que en las plantas industriales son los que ocasionan la mayor corriente de falla.

La impedancia de los circuitos de corriente alterna es la suma vectorial de la resistencia y la reactancia; para los transformadores, motores y generadores la reactancia es aproximadamente 5 veces mayor que la resistencia por lo que ésta se puede despreciar sin incurrir en gran error. En circuitos que operan a menos de 600 V al calcular las corrientes en los alimentadores derivados por lo general se debe considerar la resistencia ya que los alimentadores pueden ser largos y de cable más o menos delgado, con un alto valor de resistencia.

La impedancia se encontrará con la fórmula

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

Hay dos factores que influyen en el cálculo inicial de la corriente de corto circuito y que la hacen mayor que la corriente constante de falla: una es la reactancia variable de las máquinas rotatorias y se considera usando el valor inicial de la reactancia de la máquina, es decir, la reactancia subtransitoria; el segundo factor es la asimetría de la onda, explicada en términos de la componente decreciente de corriente directa; para considerar ésto se aplican factores al valor rcm de la corriente de falla calculada para obtener el valor rcm de la onda asimétrica para la selección del equipo de-

protección.

Cálculo de la Corriente de Corto Circuito. -

La determinación de la corriente de corto circuito presenta el problema de la determinación de la reactancia desde la fuente o fuentes, hasta el punto de falla. Para obtener la reactancia total deberá determinarse la reactancia de cada elemento y combinar todas ellas hasta llegar a la total.

Hay tres sistemas que permiten llegar al valor de la corriente de corto circuito, en ellos se calcula la reactancia en Ohms, en por ciento o en por unidad.

Las ecuaciones de conversión para cada uno de los sistemas, son las siguientes:

$$X_{p/v} = \frac{X\%}{100}$$

$$X_{p/v} \text{ (a los KVA de base)} = \frac{\text{ohms x KVA b}}{1000 \text{ x (KV)2}}$$

$$X_{\%} \text{(a los KVA de base)} = \frac{\text{ohms x KVA b}}{10 \text{ x (KV)2}}$$

Donde: ohms, es la resistencia de línea a tierra; KV, voltaje de línea.

Cuando las reactancias se expresan en por unidad a una base de KVA se pueden combinar directamente sin importar las relaciones de los transformadores en los sistemas que utilizan varios voltajes.

Los transformadores, generadores, motores, etc., tienen sus reactancias en por ciento a su propia base, es necesario convertirlos a la base seleccionada utilizando la siguiente fórmula:

$$X_{p/u} \text{ (a los KVA de base)} = X_{p/u} \text{ (a los KVA propios)} \frac{\text{KVA b}}{\text{KVA propios}}$$

Después de combinar las reactancias del sistema en una reactancia ---

equivalente, se determinan los KVA simétricos de corto circuito

$$\text{KVA simétricos de corto circuito} = \frac{\text{KVA b}}{\text{X p/u}}$$

La corriente simétrica de corto circuito está dada por

$$\text{I simétrica de corto circuito} = \frac{\text{KVA b}}{X_{p/u}\sqrt{3}\,\text{KV}}$$

Donde KV es voltaje de línea.

Protección contra sobretensiones.

Los aislamientos de los conductores están siempre bajo esfuerzos y el aislamiento exhibe el efecto de fatigas; al estar expuesto el aislamiento a la aplicación repetida de sobrevoltajes o a sobrevoltajes de gran magnitud éste acaba por fallar.

Las principales fuentes de sobrevoltajes son:

1) Estáticas: se deben a las cargas que las partículas de arena o polvo pueden adquirir al desplazarse y comunicar un alto voltaje a las líneas aéreas; lo mismo sucede con las bandas o poleas en movimiento que comunican este voltaje al sistema; la rapidez de la carga así comunicada es muy baja y con la conexión del neutro y de las cubiertas de los equipos a tierra, se puede estar seguro de que no representarán ningún peligro.

2) Contacto físico con líneas de mayor voltaje: puede suceder que una línea de mayor voltaje caiga o toque a otra de menor voltaje, si el neutro de la menor voltaje no está sólidamente conectada a tierra, se producirá un chispazo o el conductor aumentará su potencial al del sistema de mayor voltaje; si el neutro está a tierra, pueden circular grandes corrientes del sistema de mayor voltaje pero el voltaje será siempre mucho --

menor que el primer caso. En las plantas industriales no es muy frecuente esta falla, pues todos los equipos están protegidos con cubiertas metálicas y los conductores aislados.

3) Transitorios de operación (switching surges)

La operación de los interruptores de los circuitos son causa de cambios repetinos en los parámetros del circuito y pueden dar origen a sobrevoltajes que generalmente son de corta duración y su magnitud no excede de dos a tres veces la normal. Los circuitos que introducen resistencia durante el tiempo en que fluye la corriente, tienden a reducir el voltaje transitorio.

4) Fallas intermitentes a tierra, fallas en las conexiones de autotransformadores y efectos de resonancia en circuitos de inductancia-capacitancia en serie; los sobrevoltajes producidos por las causas anteriores pueden llegar a ser más o menos grandes, pero en todos los casos pueden ser evitados con una conexión efectiva del neutro a tierra.

5) Rayos: las descargas de este tipo dan origen a las sobretensiones mayores que se pueden tener en una planta industrial. Los rayos pueden producir un sobrevoltaje en una línea ya sea por descarga directa sobre la línea o por inducción electrostática de una descarga a tierra en la proximidad de la línea. El potencial puede ser de más de 500,000 volts en una descarga directa, y la magnitud de la corriente mayor de 100,000 amperes; la magnitud de esta corriente obliga a proporcionarle una trayectoria de muy baja resistencia y alta capacidad, la cual se logra por medio de apartarrayos conectados a un sistema adecuado de tierra.

Los sistemas industriales no están particularmente expuestos a las -- descargas, pero sí las líneas aéreas de alta tensión que por lo general -- los alimentan. La onda de sobrevoltaje disminuirá su valor al ir avanzando y la protección por medio de apartarrayos en la entrada de la alta tensión en la planta deberá reducir la magnitud de esta sobretensión a un nivel que los aparatos puedan resistir. Siendo las sobretensiones de este -- tipo de gran magnitud pero de muy corta duración, es la prueba de impulso lo que determina la protección.

La prueba de impulso comunmente usada consiste en la aplicación de - una tensión de duración 1.5 x 40 micro segundos y de un valor de cresta - determinado y al que se denomina BIL (basic impulse insultation level).

Los dos tipos principales de apartarrayos son los de "expulsión" y los "auto-valvulares". Actualmente los autovalvulares son los usados en los - sistemas industriales por poder trabajar encerrados en gabinetes y tener - un número de operaciones ilimitado.

Con objeto de que los apartarrayos cumplan su misión correctamente - deberán considerarse los siguientes factores:

a) Seleccionar el voltaje de operación.

Para los sistemas con neutro aislado o neutro a tierra a través de re-- sistencia, el voltaje de operación de los apartarrayos será igual al voltaje de línea; para sistemas con neutro sólido a tierra o neutro a tierra a través de reactancia se seleccionarán con el voltaje a tierra del sistema.

VOLTAJE DE OPERACION DE APARTARRAYOS PARA SISTEMAS TRIFASICOS

Voltaje Nominal del Sistema, KV	VOLTAJE DE OPERACION DE LOS APARTARRAYOS, KV: Sistemas con Neutros Aislados	Sistemas con Neutro Sólido a Tierra.
0.120/0.208 Y	0.65	0.175
0.240	0.65	0.65
0.480	0.65	0.65
0.600	0.65	0.65
2.4	3	3
2.4/4.16 Y	4.5 ó 6	4.5 ó 6
4.16	4.5 ó 6	4.5 ó 6
4.8	6	4.5 ó 6
6.9	7.5 ó 9	6
12	15	12
7.2/12.47 Y	15	12
13.2 ó 13.8	15	12
23	25	20
34.5	37	30
46	50	40
69	73	60

b) Seleccionar el tipo de apartarrayos adecuado.

Los apartarrayos para operar a 1,000 volts o más se pueden clasificar de acuerdo con sus características y campo de aplicación, en:

1. Apartarrayos de distribución: su voltaje de operación es de 1, 3, 6, 9, 12, 15 y 18 KV; están diseñados primordialmente para protección de transformadores de distribución pero se pueden usar para equipos de medición, reguladores de voltaje, interruptores, reguladores de voltaje, condensadores de distribución y cable. Son pequeños, livianos y sencillos de montar y baratos.

2. Apartarrayos de línea: se encuentran con voltajes de operación de 20,

25, 30, 37, 40, 50, 60 y 73 KV. Son de tamaño regular, livianos y de bajo costo; se usan para protección de transformadores y subestaciones de voltaje medio.

3) Apartarrayos de estación: son pesados y más caros que los anteriores, pero más confiables y con mejores características de protección que los de distribución o los de línea. Se usan en grandes instalaciones o donde se quiere tener una mayor seguridad; las unidades se fábrican generalmente en forma de poder apilarse, es decir, reunir varias unidades para lograr voltajes intermedios. Los voltajes nominales en que se fabrican son 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 37, 40, 50, 60, 73, 79, 97, 109, 131, 133, 145, 169, 195 y 242 KV.

Hay apartarrayos que son variantes de los de estación para protección de máquinas rotatorias, hay también para protección de circuitos de baja tensión, 110 a 125 volts a tierra. Hay también apartarrayos tipo capacitor para protección de sistemas de corriente eléctrica.

c) Localización de los apartarrayos.

El lugar ideal, desde el punto de vista de protección, para instalar los apartarrayos, es lo más cerca posible del equipo que van a proteger, pero algunas veces variando esta posición se logra que un sólo juego de apartarrayos proteja varios equipos, sin embargo esta separación entre los apartarrayos y el equipo hace que aumente la intensidad del voltaje transitorio aplicado al equipo; el aumento depende de (1) la cresta del frente de la onda, (2) la impedancia relativa del equipo y el circuito entre el apartarrayos y el equipo protegido, y (3) el voltaje de flameo del-

apartarrayo.

Dispositivos de protección. -

Hay tres tipos principales de aditamentos para detectar las fallas debidas a sobrecorrientes en el sistema, éstos son:

1.- Relevadores.

2.- Interruptores de Circuitos.

3.- Fusibles.

1.- Relevadores. - Son aditamentos que se instalan en el sistema y tienen por objeto detectar la falla y enviar una señal ya sea de alarma o a la bobina del interruptor para hacerlo operar.

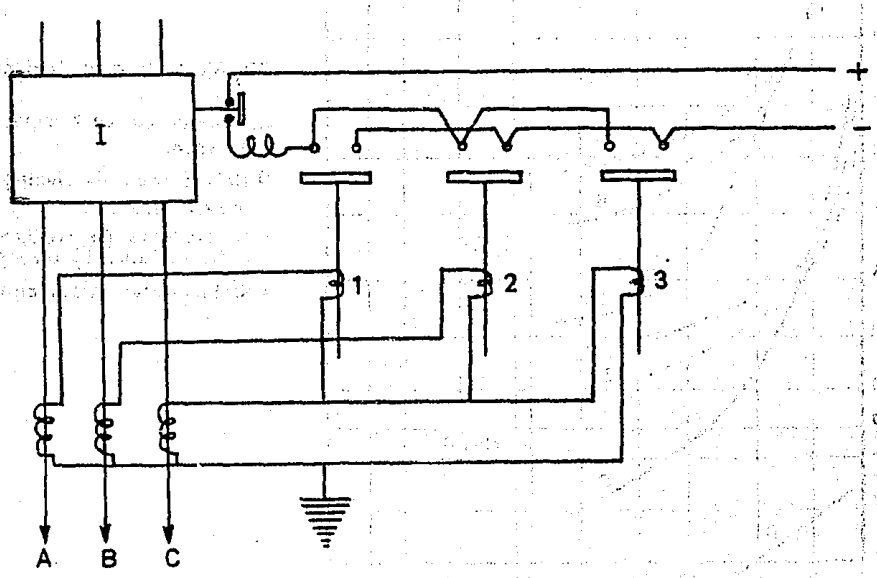
Los relevadores pueden responder a sobrecorrientes o a combinación de corriente y voltaje, al sentido de la corriente, diferencias de corriente en los dos extremos de un circuito, etc.

Los relevadores proporcionan la mejor protección ya que son ajustables tanto en tiempo como en corriente. Pueden trabajar en el principio de atracción electromagnética o en el de inducción electromagnética; los de atracción electromagnética consisten básicamente en una palanca en medio de una bobina que puede tener derivaciones para permitir ajustes o por medio de la distancia que la palanca tiene que recorrer para cerrar un contacto o por variación en la tensión de un resorte que hace necesaria una mayor corriente para accionar la palanca; los de inducción electromagnética trabajan con el principio del motor de inducción, teniendo un "estator" y el flujo debido a la circulación de corriente en él, induce corrientes en un disco haciendo que se mueva y

abra o cierre contactos.

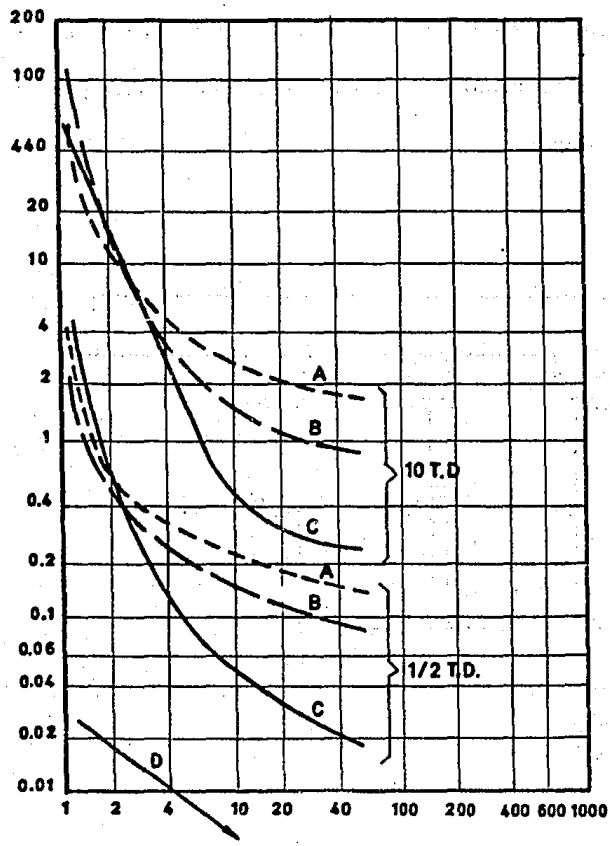
Se pueden clasificar de acuerdo con su tiempo de operación en: instantáneos (1/2 a 6 ciclos), de alta velocidad(3 ciclos o menos), retardadores (tiempo generalmente ajustable, con característica de tiempo inverso, es decir que el tiempo de operación disminuye conforme aumenta la magnitud de la corriente), combinación alta velocidad-retardadores.

Los relevadores de corriente unidireccional son los más usados en instalaciones industriales para protección de corto circuito; actúan sin importar la dirección de la corriente. Generalmente son de tiempo inverso, pudiendo este ser también "muy inverso" y "extremadamente inverso". La magnitud de la corriente para hacerlos operar se selecciona por medio de derivaciones en la bobina de operación y el ajuste de tiempo se hace por medio de una palanca o un disco.



En la figura se muestra el diagrama de un sistema de conexión residual para relevador de tierra; los relés 1 y 2 son de tipo normal, el 3 es de baja corriente (0.5 a 2 amperes) y de característica inversa o muy inversa, 1 y 2 llevan corriente de 2 de los cables y operan con falla trifásica o de polo a polo, 3 lleva la suma de las 2 corrientes, o sea la residual y opera por falla a tierra en cualquiera de los cables. Esta protección es muy efectiva y se presta a una buena coordinación.

En la gráfica se muestran las curvas de corriente contra tiempo, de relevadores de operación inversa.



T.D., Ajuste del disco de tiempo.

A, Relevadores de tiempo inverso.

B, Relevadores de tiempo muy inverso.

C, Relevadores de tiempo extremadamente inverso.

D, Relevadores instantaneos.

Los relevadores direccionales son los que operan cuando la corriente - en el circuito circula en una dirección y no operan cuando circula en dirección contraria, sin importar su magnitud. Pueden operar con base en la -- potencia útil (KW) o en la corriente de corto circuito, que es lo más usual. - Algunos usos de estos relevadores son:

a) Permitir actuar un interruptor para un determinado valor de tiempo y - corriente de corto circuito cuando esta circula en un sentido y para un- diferente valor de tiempo y corriente cuando circula en sentido opuesto.

b) Para obtener disparo selectivo entre interruptores en el extremo receptor de líneas paralelas cuando ocurre una falla en una de las líneas ha-- ciendo que la misma corriente circule por los relevadores de las líneas no afectadas.

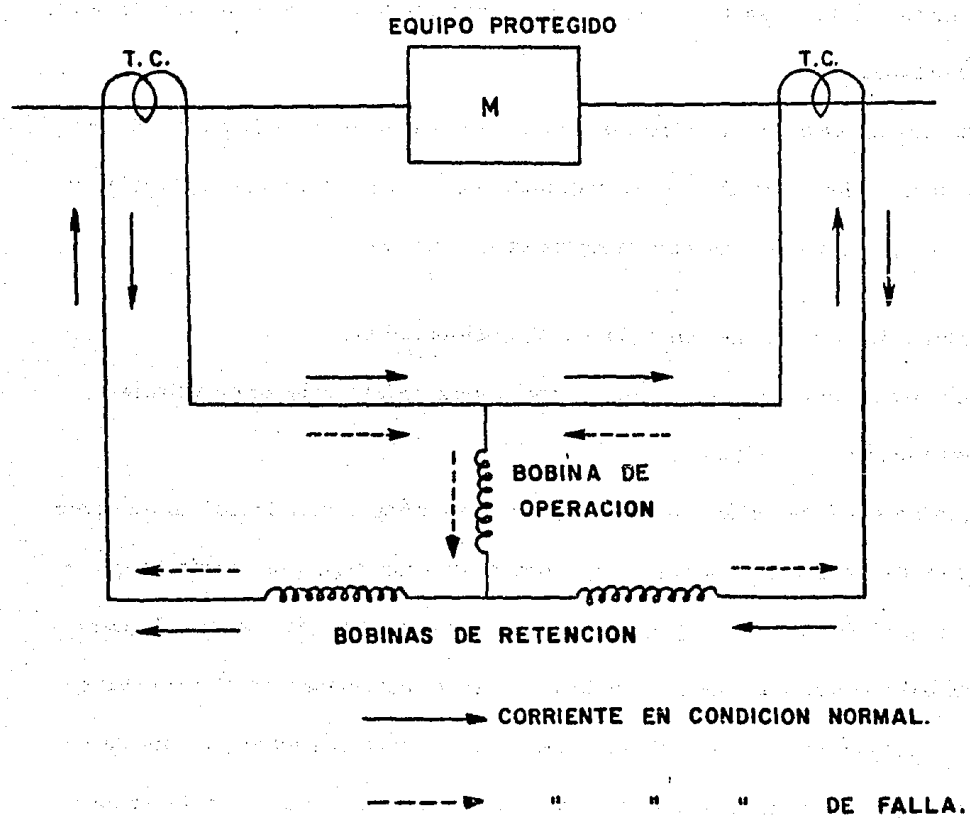
c) Para obtener disparo selectivo de un transformador o generador con -- neutro aislado cuando ocurre una falla a tierra en la unidad protegida -- y hay otras fuentes de corriente de falla a tierra.

Los principales tipos de relevadores direccionales son:
De sobrecorriente, de tierra, de potencia y de refrenamiento de voltaje -- (relevadores de impedancia).

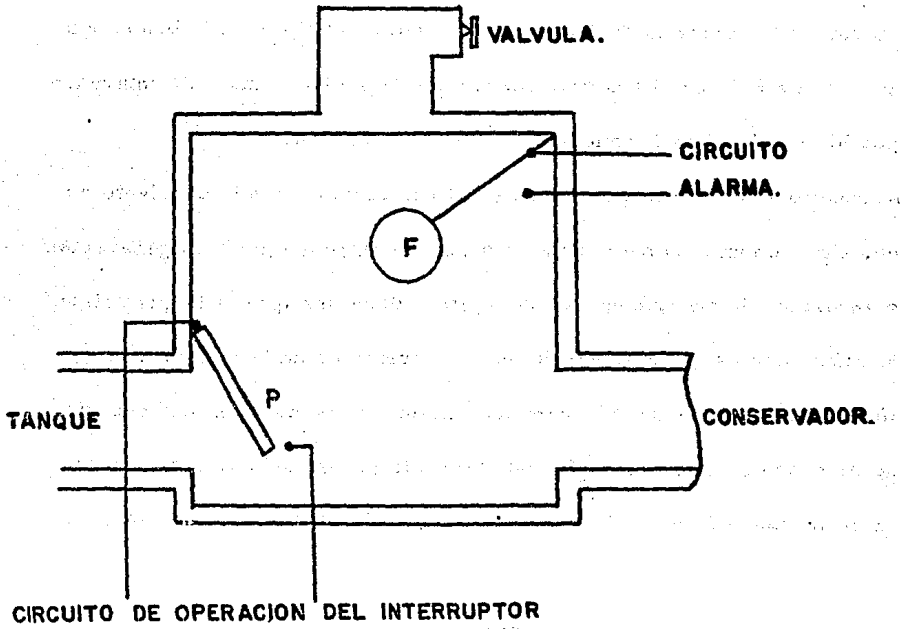
Los relevadores diferenciales se basan o actúan con el principio de comparación de corriente, es decir, en condiciones normales la corriente que - entra al embobinado de un generador, de un transformador o de un circuito, estará balanceada por una corriente equivalente circulando en el otro extremo; al ocurrir una falla habrá un cambio entre estas cantidades y este cambio es el que hace que opere el relevador. En su forma más simple es un -

relevador de sobrecorriente conectado para medir la diferencia de los valores de corriente,obtenida de los transformadores de corriente en lados opuestos del transformador a proteger,o en los extremos de cada fase de los embobinados de una máquina. Actualmente el tipo de relevador preferido es el de "porcentaje diferencial" que permite una protección más sensible sin el riesgo de falsas operaciones debidas a pequeñas diferencias en la corriente; los rangos de porcentaje diferencialde operación varían de 10 a 50%, siendo generalmente relevadores instantáneos.

Un diagrama simplificado de la operación de este tipo de relevadores es el siguiente:



Para la protección de transformadores es muy común en Europa el "relevador Buchholz" que es un dispositivo mecánico que se intercala en el tubo que une el conservador y el tanque. Según se muestra en la figura el dispositivo consiste esencialmente de un depósito cerrado con un flotador F en la parte superior y una paleta P frente al orificio de comunicación con el tanque. Normalmente el depósito está completamente lleno de aceite por lo que el flotador toca la parte superior y la paleta está vertical; al ocurrir una falla en el devanado, el arco que se forma desplaza el aceite arrojándolo hacia el conservador, al levantar la paleta ésta toca el contacto cerrando el circuito y produciendo el disparo del interruptor, desconectando el transformador; si la falla no es muy grande los gases producidos por ésta hacen que el flotador baje cerrando el circuito de alarma; al extraer los gases por la válvula se analizan para determinar la causa de la falla.



Relevadores para protección de Barras (Buses). -

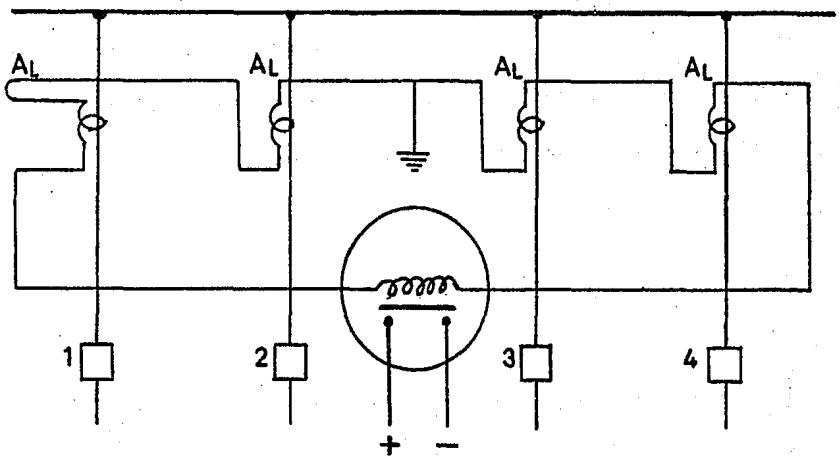
En las grandes plantas industriales las barras tienen generalmente interruptores para seccionarlas, es decir que al producirse una falla en una de las secciones, ésta pueda ser aislada dejando a las demás sin afectar. Las tres formas de protección más usadas son:

a) Con relevadores de protección diferencial; se emplean cuando el número de circuitos conectados al bus no es grande. Uno de los problemas que presenta es la variación en las características de los transformadores de corriente, especialmente el fenómeno de saturación al ocurrir un -- corto circuito.

b) Relevadores de voltaje diferencial: se conectan a los secundarios en paralelo de los transformadores de corriente en cada una de las líneas de entrada y de salida. En condiciones normales la suma vectorial de las corrientes secundarias es cero y no hay voltaje en la bobina del rele-- vador; al ocurrir una falla interna o externa, la suma vectorial ya no - es cero y la corriente desbalanceada origina un voltaje en la bobina que en caso de falla en el bus será mayor que la debida a una falla interna, - por lo que el relevador puede distinguir una de otra.

c) Acoplador lineal: Estos se basan en el principio de que la corriente -- que entra en un perímetro determinado, siempre que no haya generación o absorción de energía en ese perímetro, debe ser igual a la que sale;- la diferencia es que en lugar de sumar corrientes de la misma fase de- líneas distintas, se hace la suma de tensiones inducidas en una especie de reactor de doble enrollado, no saturable y cuyo primario se conecta en serie con la línea y el secundario forma el circuito del relevador de

potencial máximo que determina el disparo general de todos los interruptores.

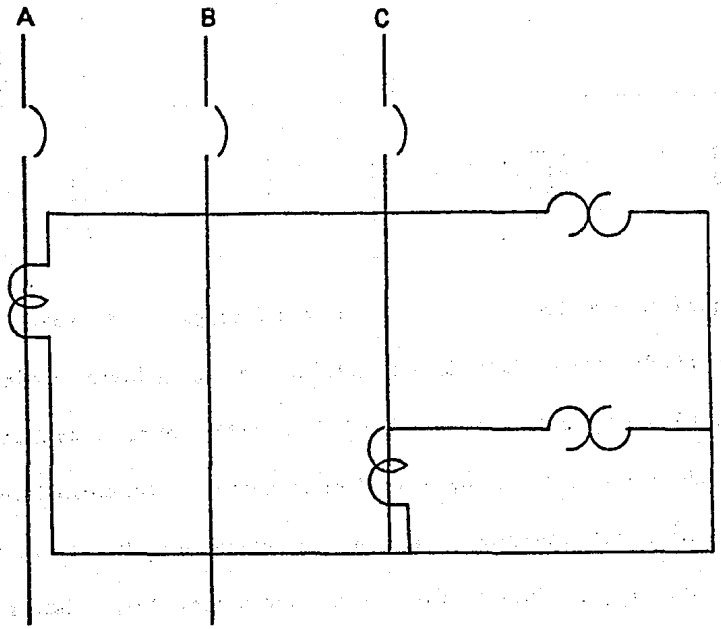


En la figura se muestran las conexiones para 4 acopladores lineales AL en líneas que pueden ser de entrada o de salida. Los secundarios están en serie con un relevador de tensión máxima RV que actúa sobre un auxiliar no representado que a su vez dispara los 4 interruptores. En condiciones normales la tensión total es nula, aún cuando la corriente en las líneas sea mayor que la normal y los interruptores permanecen cerrados; al haber falla en la barra, una de las corrientes de entrada, por lo menos, es mayor que las otras juntas y al inducir mayor tensión en el secundario que ellas, produce la operación de RV y el disparo general.

Relevadores térmicos de sobrecorriente.-

Estos relevadores se usan para detectar sobrecargas y cortos circuitos en los alimentadores de motores de corriente alterna. Constan básicamente de una tira bimetálica que al pasarle la corriente eleva su tempera-

tura y al llegar ésta a un valor predeterminado, se dobla lo suficiente para cerrar su contacto. Estos relevadores se conocen también como de tipo - "réplica" ya que su unidad térmica se selecciona de modo que sus carac-- terísticas representen la característica térmica del motor, cuando el mo-- tor alcanza su temperatura máxima permitida, el relevador habrá llegado- a la temperatura en que sus contactos deben cerrarse.



Algunos números de Dispositivos de Protección empleados comunmente(ASA):

1. Elemento Maestro. Es un dispositivo que inicia la acción, tal como un interruptor o un relevador que pone en funcionamiento o detiene un equipo.

4. - Contactor Maestro. Es un dispositivo controlado normalmente por el - dispositivo No. 1, el cual energiza los circuitos de control necesarios para- iniciar una operación.

5. -Dispositivo de Detención. Sirve principalmente para detener al equipo

y mantenerlo fuera de operación.

6. Interruptor de Arranque. Se usa para conectar una máquina a la ten-- sión de arranque.

8. Dispositivo de Desconexión de Control y de Energía. Se usa para co-- nectar y desconectar la energía de control y la energía auxiliar a los aparatos de control, tales como: desconectador de navajas, interruptor en -- aire o bloque de fusibles.

27. Relevador de Bajo Voltaje. Opera a un valor predeterminado de voltaje.

30. Relevador Anunciador. Es un dispositivo de restablecimiento manual que da indicación auditiva y visual de la operación de un dispositivo de protección.

38. - Dispositivo de Protección de Chumacera. Funciona al ocurrir una -- temperatura excesiva en chumaceras.

40. - Relevador de Campo. Opera cuando la corriente de campo disminuye abajo de un valor predeterminado.

41. - Interruptor de Campo. Se usa para aplicar o retirar la excitación en el campo de una máquina.

42. - Interruptor de Funcionamiento. Se usa para conectar una máquina a- la tensión de funcionamiento normal, después de la aceleración obtenida con el voltaje de arranque.

47. - Relevador de Voltaje de Secuencia de Fase. Funciona cuando el --- voltaje es menor de un valor predeterminado o al ocurrir inversión en la- secuencia de fase.

49. Relevador Térmico para Máquinas o Transformadores. Se usa para - detectar la temperatura de los devanados que conducen la energía de carga de máquinas de corriente alterna o corriente directa y rectificadores de -- energía. Este dispositivo opera si la temperatura excede un valor predeter- minado.

50. - Relevador Instantáneo de Sobrecarga. Opera en forma instantánea -- cuando la corriente del circuito excede a un valor predeterminado.

51. Relevador de Sobrecorriente con retraso, para corriente alterna. Es- te dispositivo opera con una característica de tiempo definido o de tiempo - inverso, después de que la corriente ha excedido un valor determinado.

55. - Relevador de Factor de Potencia. Opera cuando el factor de potencia en un circuito de corriente alterna aumenta o disminuye con respecto a un - valor predeterminado.

64. - Relevador de Protección de Tierra. Funciona cuando hay un flujo de corriente en la coraza de la máquina a tierra, que es usualmente el resul- tado de una falla en el aislamiento o de una tierra en un circuito aislado.

67. - Relevador de Sobrecorriente Direccional de c-a. Funciona cuando - la sobrecorriente que fluye en una dirección predeterminada llega al valor deseado.

81. - Relevador de Frecuencia. Funciona al ocurrir un valor predetermi- nado de frecuencia arriba o abajo del valor normal, o cuando la velocidad de cambio de frecuencia es mayor que un valor dado.

86. - Relevador de Bloqueo. Este dispositivo es operado eléctricamente y tiene restablecimiento manual o eléctrico. Su función consiste en parar -

el equipo, al ocurrir condiciones anormales, hasta que es restablecido.

87.- Relevador Diferencial de Protección. Compara dos cantidades, usualmente corrientes y funciona cuando la diferencia entre ambas excede de un valor predeterminado.

2.- Interruptores de Circuitos (circuit breakers).-

Según la definición ASA "un interruptor de circuitos es un dispositivo para cerrar e interrumpir un circuito entre contactos separables, ya sea bajo condiciones normales (corrientes no en exceso de la corriente nominal contínua del interruptor) o anormales (corrientes en exceso de la corriente nominal contínua, como las de corto circuito); la capacidad de un interruptor de circuitos deberá ser igual o mayor que la de corto circuito del sistema".

Tienen las siguientes ventajas:

a) Eliminan la posibilidad de operación monofásica

b) El tiempo de disparo puede ser ajustable

c) Posible selección de las características de tiempo corriente

d) Pueden operar repetidamente

e) Mínima alteración por cambios de temperatura

f) Amplia variedad de corriente

g) Standards de fabricación altos

Los interruptores proporcionan en una sola unidad un medio de cortar los circuitos y además un medio de interrumpir condiciones anormales; ofrecen protección contra partes vivas y contra operación en una sola fase ya que todos los polos de un interruptor polifásico disparan como una sola

unidad.

Actualmente la tendencia es de usar los interruptores concentrados en un gabinete llamado "tablero de control" que aunque su inversión inicial - es alta, ésta se paga por sí sola en poco tiempo por el reducido mantenimiento y la flexibilidad de operación.

Tableros de Alta Tensión. - Se pueden agrupar de acuerdo con la tensión de servicio en dos grandes grupos:

Clase 5 KV

Clase 15 KV

Los tableros clase 5 KV están diseñados para una tensión máxima de - 4760 volts y son los apropiados para usarse en circuitos de 2400, 4160 y -- 4330 volts; los de clase 15 KV están diseñados para una tensión máxima de- 15000 volts y son los apropiados para usarse en circuitos de 4800, 6900 y - 13800 volts.

Las capacidades interruptivas fluctúan entre 50,000 y un millón de KVA.

Los tableros de alta tensión tipo interior son los denominados "metal -- clad", que se caracterizan por lo siguiente:

a) Todas sus partes están cubiertas por gabinetes metálicos aterrizados.

b) El alambrado y los dispositivos de control secundarios están aislados -- de los dispositivos primarios de alta tensión por medio de barreras metálicas aterrizadas.

c) El interruptor es del tipo removible y está equipado con medios de desconexión primarios y secundarios y dispone de un mecanismo desconectador para moverlo físicamente (horizontal o verticalmente).

d) Está provisto de bloqueos para asegurar una secuencia apropiada y una seguridad absoluta en su operación.

Los tableros tipo intemperie son iguales pero con la adición de una cubierta exterior con puerta y techo a prueba de intemperie y algunas veces con un pasillo cubierto para operación.

Para explicar las características de los interruptores seleccionaremos el interruptor Westinghouse 50-DH-250 como ejemplo:

1. - a) 50 significa que es aplicable en circuitos clases 5 KV (no aplicable en 4600 ó 4800 volts).

b) DH significa interruptor magnético en aire.

c) 250 es la capacidad imterruptiva (250 megavolt-amperes a 4160 volts)

2. - Tensión.

a) Tensión máxima de diseño (4760 volts); es la tensión máxima a la cual puede ser operado, de acuerdo con las características de aislamiento de sus componentes.

b) Tensión mínima de operación (3850 volts), es la tensión mínima a la cual el interruptor puede interrumpir los 250 MVA trifásicos nominales; para tensiones inferiores la capacidad interruptiva disminuye.

3. - Corriente nominal.

a) Corriente nominal continúa (1200 ó 2000 amperes), es el valor de la corriente que el interruptor puede conducir continuamente sin exceder los límites de temperatura permisibles.

4. - Corriente a tiempo corto.

a) Corriente momentánea (6000 amperes), es el valor cuadrático medio

total de la corriente asimétrica que el interruptor debe soportar durante el medio ciclo siguiente a una falla. Un interruptor no puede interrumpir la corriente momentánea, pero durante un corto circuito debe tener la suficiente resistencia mecánica para soportar los esfuerzos mecánicos (que varían con cuadrado de la corriente) causados por la corriente inicial de corto circuito.

b) Corriente permisible en 4 segundos (37500 amperes), es la corriente que puede circular por el interruptor en dicho lapso de tiempo, el cual es necesario para permitir la operación de los relevadores de sobrecorriente y disparar el interruptor.

5. - Capacidad interruptiva.

a) MVA (250) es el valor del corto circuito trifásico que el interruptor es capaz de interrumpir dentro de los límites de seguridad, es el producto de la corriente de corto circuito simétrica y el voltaje por la raíz cuadrada de 3

$$= Icc\ V\sqrt{3}$$

b) Capacidad interruptiva en amperes a la tensión nominal (35000 amperes), es la corriente de corto circuito simétrica que el interruptor puede interrumpir a la tensión nominal, es el resultado de dividir los MVA de capacidad interruptiva entre la tensión nominal.

c) Capacidad interruptiva en amperes máxima (37, 500 amperes), es la corriente de corto circuito simétrica máxima que el interruptor es capaz de interrumpir a cualquier tensión. Por ejemplo el interruptor 50-DH-250 puede interrumpir 250 MVA a cualquier tensión entre

4700 y 3850 volts, abajo de 3850 volts, la capacidad interruptiva en MVA se obtiene

$$MVA = \sqrt{3}\ V \times 37,500$$

6. - Nivel básico de impulso.

Tanto los interruptores como los tableros están sujetos a transitorios ya sea por rayos o por la apertura de interruptores; se utiliza en la - prueba un generador de impulso para probar su aislamiento. La prueba para equipo de 4160 volts es de 60 KV y para equipo de 7.2 y 13.8 KV es de 95 KV.

Existen dos tipos de mecanismo de operación: eléctrica por solenoide y de energía almacenada.

El mecanismo de operación eléctrica por solenoide requiere una ali--- mentación de C.D. de 125 volts que puede conseguirse por medio de un rectificador o una batería; el de energía almacenada requiere energía de con-- trol menor ya que se puede utilizar una batería de 48 volts a cualquier --- fuente ordinaria de 120 volts C.A., la energía es almacenada en un resorte y es liberada para cerrar los contactos del interruptor. El tiempo para - comprimir el resorte es del orden de 5 a 10 segundos y se logra mediante un pequeño motor y efectúa el cierre en un período de 1/6 a 1/4 de segundo.

Tableros de Baja tensión. - Consisten en una estructura metálica ya sea - de piso o para adosarse a los muros, totalmente cubierta y conteniendo -- los interruptores de tipo intercambiable, además del equipo auxiliar como instrumentos de medición, barras, transformadores de instrumentos, etc.

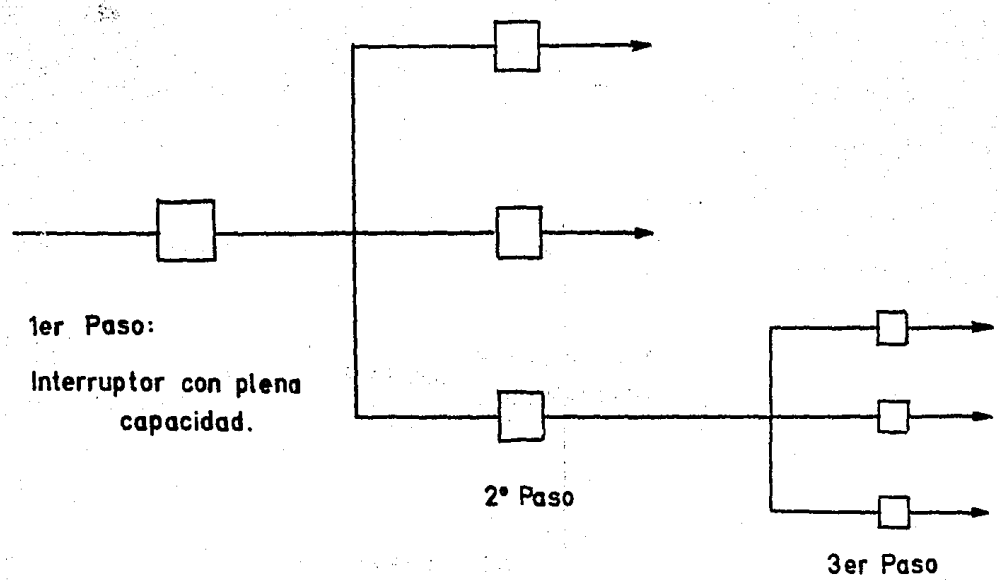
Estos tableros tienen su campo de aplicación en plantas industriales, edificios comerciales y en plantas generadoras. Se pueden usar en circuitos desde 220/127 hasta 600 volts C.A. y hasta 250 volts C.D.

Las capacidades interruptivas fluctúan entre 14,000 y 130,000 amperes simétricos.

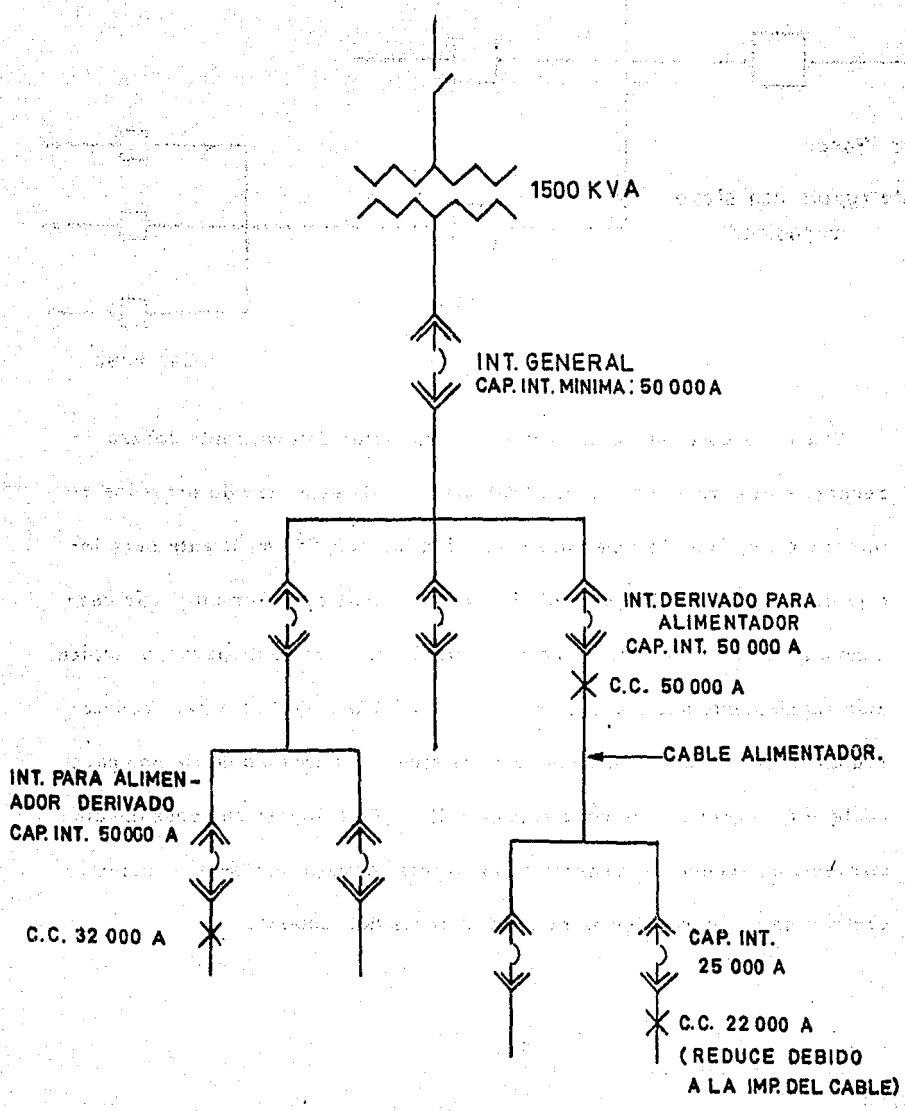
En los interruptores de circuitos de bajo voltaje el circuito responsable de la apertura está construído en el interruptor para formar un conjunto integral. Los interruptores son de "disparo libre", es decir, el interruptor opera cuando el medio de apertura le ordena abrir, aún cuando el medio de cierre esté tratando de cerrarlo en ese momento.

En las instalaciones donde las interrupciones generales son tolerables, se puede reducir la capacidad interruptiva de varios interruptores mediante la operación de estos "en cascada".

Este arreglo consiste en permitir la operación simultánea de dos interruptores para interrumpir la misma corriente de corto circuito por lo que estos no necesitan tener cada uno la capacidad completa que requiere el fallo; en este caso deberá existir un interruptor principal con plena capacidad interruptiva que opere simultáneamente con el que está sujeto a corrientes superiores a su designación.



Cuando la continuidad de servicio es un factor determinante deberá -- recurrise al arreglo de disparo "selectivo". En este arreglo todos los — interruptores deberán tener una capacidad interruptiva suficiente para interrumpir todas las fallas en el sistema y además el interruptor más cercano a la falla deberá estar provisto con dispositivos de disparo que actúen más rápidamente que los intermedios y los del lado de la fuente. El interruptor más próximo a la fuente deberá tener más retraso de tiempo para cualquier magnitud de la corriente de falla. Para lograr una coordinación correcta es necesario recurrir a las curvas de coordinación de corriente-contra tiempo de los diferentes interruptores del sistema.


1500 KVA
INT. GENERAL
CAP. INT. MINIMA: 50 000 A
INT. DERIVADO PARA
ALIMENTADOR
CAP. INT. 50 000 A
C.C. 50 000 A
CABLE ALIMENTADOR.
INT. PARA ALIMEN-
ADOR DERIVADO
CAP. INT. 50000 A
C.C. 32 000 A
CAP. INT.
25 000 A
C.C. 22 000 A
(REDUCE DEBIDO
A LA IMP. DEL CABLE)

3.- Fusibles.-

Son aditamentos de operación monofásica por lo que puede suceder que al volar uno, el sistema quede trabajando monofásico. Sus características de disparo y de tiempo-corriente son fijas y para variarlas es necesario cambiar el tamaño o el tipo de fusible. Son aditamentos de una sola operación ya que al disparar se destruyen, siendo necesario reemplar el elemento para lograr protección nuevamente. Siendo los fusibles aditamentos térmicos, su operación está sujeta a variación de acuerdo con los cambios de la temperatura ambiente.

En la aplicación de fusibles se debe considerar en su selección el voltaje, la capacidad de corriente y la capacidad interruptiva.

Para la capacidad de voltaje del fusible se deberá considerar la clase inmediata superior a la del voltaje que se tenga.

Para la capacidad de corriente se deberá seleccionar para que el fusible vuele sólo debido a fallas en el sistema o a sobrecargas, pero no debido a corrientes de "inrush" en transformadores o motores.

La capacidad interruptiva está basada en la corriente asimétrica máxima disponible en el primer medio ciclo después de la falla, ya que los fusibles son aditamentos de operación rápida que actúan en el primer medio ciclo, cuando existe la mayor asimetría. El valor asimétrico máximo se considera generalmente como 1.6 veces el valor simétrico, para circuitos de alto voltaje y como 1.4 para circuitos de bajo voltaje.

Cuando se requiere coordinar fusibles con otros fusibles o con interruptores, deberá recurrirse a sus curvas características.

Fusibles para bajo voltaje. - Se consiguen en forma de tapón hasta 30 amperes y de cartucho en los tamaños mayores. Los cartuchos tienen en el interior el elemento fusible, que es la única parte que se cambia y vienen en rangos de forma que un elemento fusible no se pueda usar en el cartucho de un rango superior; igualmente los cartuchos no se pueden instalar en las cajas provistas de navajas desconectadoras de un rango superior.

Fusibles para voltaje medio y alto. - Varían en su diseño y construcción, pero se pueden dividir básicamente en los siguientes grupos:

a) Fusibles desconectadores.

b) No-limitadores de corriente (con elemento reemplazable o no).

c) Limitadores de corriente.

Los fusibles desconectadores se usan primordialmente en sistemas hasta 15 KV. Consistende un soporte para el cartucho y de un cartucho conteniendo el elemento fusible; el desconectador tiene el mecanismo en forma de poder abrirse por medio de una pértiga y generalmente tienen una trabe para que la apertura no se haga por gravedad. El elemento fusible es reemplazable después que ha operado.

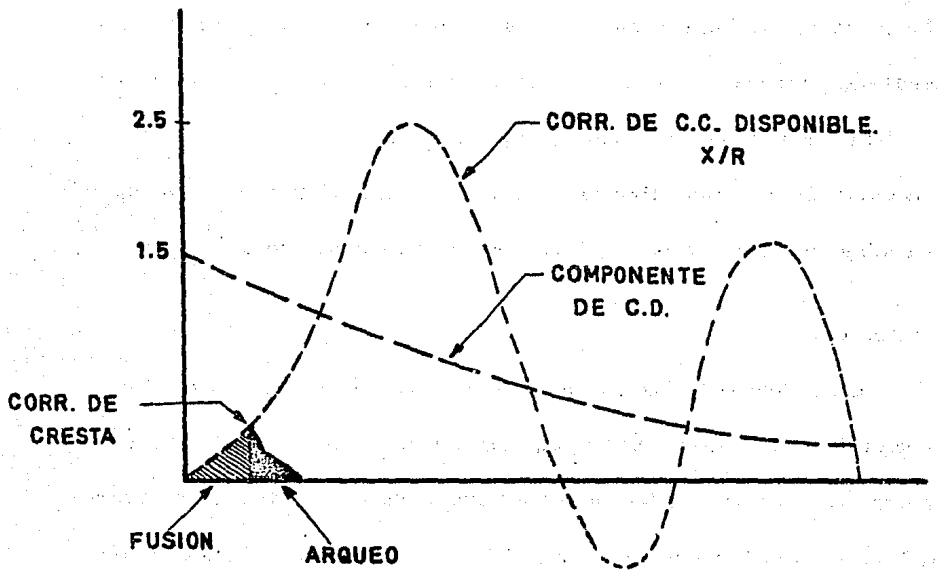
Los fusibles no limitadores de corriente con elemento reemplazable se usan para capacidades medidas y en sistemas hasta 34.5 KV. Su capacidad interruptiva varía de 150 MVA a 2.4 KV, hasta 1000 MVA a 34.5 KV. Los de elemento no reemplazable son de alta capacidad y se usan en sistemas hasta 138 KV, su capacidad interruptiva es de 1500 MVA a 34.5 KV, hasta 2000 MVA a 138 KV.

La construcción de ambos tipos es básicamente la misma consistiendo de

un soporte para el fusible, el fusible y su relleno.

Los fusibles limitadores de corriente son usados grandemente en los sistemas en que se requiere limitar la corriente de corto circuito en sistemas de alta capacidad. Se usan para proteger transformadores de potencial, pequeñas cargas en circuitos de alta capacidad y en arrancadores de motores en alto voltaje.

Para reducir la corriente de corto circuito a un valor más bajo, el fusible está diseñado de modo que al fundirse el elemento se introduzca un arco de alta resistencia en el circuito; en la gráfica se muestra la curva de limitación de corriente de uno de estos fusibles.



Todos los fusibles de potencia se apegan a las normas NEMA y su capacidad "E" debe cumplir con lo siguiente:

1.- Todos los fusibles deben conducir su corriente nominal continuamente.

2.- Los fusibles de 100 amperes o menos deberán fundirse en 300 segundos

con una corriente rcm del rango de 200 a 240% de la capacidad contínua - del fusible.

3.- Los fusibles de más de 100 amperes deberán fundirse en 600 segundos -- con una corriente rcm del rango de 220 a 264% de la capacidad contínua - del fusible.

Las principales curvas de características de los fusibles y que se em--- plean para su coordinación con otros fusibles o interruptores son:

1.- La curva de corriente -tiempo corto, indica la corriente que el fusible - puede soportar durante determinado tiempo sin que se afecten sus características.

2.- La curva de corriente -tiempo de fusión, indica el tiempo que el fusible puede soportar determinada corriente sin fundirse, pero las características del fusible sí pueden cambiar abajo de estos valores.

3.- La curva de corriente -tiempo de apertura, indica el tiempo que tarda - el fusible en abrir el circuito, incluyendo el tiempo de arqueo.

Alimentadores.-

Los alimentadores son los conductores que llevan la energía hasta el --- punto de utilización. Pueden ser de alta tensión para llevarla hasta el punto de transformación o de baja tensión para llevarla desde los tableros generales de baja tensión, hasta los motores, lámparas o cualquier aditamento en- el que se vaya a utilizar la energía.

La selección del sistema a emplear debe basarse en las siguientes consideraciones:

1.- Condiciones de operación,

2.- Tiempo de instalación,

3.- Selección del tipo de cable,

4.- Selección del calibre.

Condiciones de Operación.-

La corriente que debe conducir un alimentador está determinada por la carga que va a servir. La carga es generalmente de motores y/o de alumbrado.

Para la carga de motores se puede recurrir a los datos de placa de los mismos y considerar que los alimentadores para un solo motor deberán tener una capacidad de corriente no menor que el 125% de la corriente a plena carga del motor; para varios motores los alimentadores deberán tener una capacidad no menor que el 125% de la corriente de plena carga del motor mayor más la suma de las corrientes de plena carga del resto de los motores.

Para la carga de alumbrado fluorescente o de cualquier otro tipo que requiera reactores, deben considerarse las pérdidas en los mismos.

Cuando la carga es una combinación de motores y alumbrado, se debe considerar para el total, la carga de alumbrado y a ésta agregarle la de motores, de acuerdo con lo indicado en los párrafos anteriores.

Para la determinación de la carga, se pueden usar factores de demanda para cada alimentador, dep endiendo del tipo de industria de que se trate, pero siempre tener en mente dejar un porcentaje para futuras ampliaciones.

Tipo de Instalación.-

Hay varias formas de instalar los alimentadores, cada una tiene sus ventajas y sus desventajas y la elección deberá basarse en el caso particular de-

acuerdo con las normas de seguridad, la experiencia y el tipo que resulte más económico.

a) Alambrado abierto.

Pueden usarse conductores de cobre desnudo o a prueba de intemperie, montados en aisladores y apoyados éstos en postes o en la misma estructura del edificio. Es el tipo de instalación más barato en inversión inicial y se puede usar en plantas que cubran una gran área, en circuitos de distribución primaria. Los cables son generalmente un estorbo ya que impiden el paso de grúas y tienen el riesgo además de fallas debidas a objetos lanzados desde abajo o que puedan caer de arriba; representan también una área más expuesta a la caída de rayos por lo que deberán protegerse con hilos piloto, apartarrayos y otros aditamentos.

Desde el punto de vista de carga en los conductores, en línea aérea, éstos pueden conducir aproximadamente un 40% más que entubados, pero debido al espaciamiento mayor de los conductores, éstos tienen una alta reactancia que hace que la caída de voltaje sea grande, especialmente en circuitos operando a bajo factor de potencia.

Puesto que la línea y los aisladores quedan visibles, cualquier falla puede ser fácilmente localizada, pero desde luego y especialmente cuando se usan conductores desnudos, la caída de una línea representa un gran peligro.

Como una variante del sistema anterior se está usando actualmente el cable aéreo con otro cable llamado "mensajero" que además de servirle de soporte a los conductores, se puede usar como cable de tierra.

b) Alambrado subterráneo.

Los conductores se pueden llevar por el suelo, ya sea en ductos (de asbesto cemento o de mampostería), enterrados directamente o en conduit.

La instalación de ductos facilita la inspección y el reemplazo de los conductores dañados. Se deben dejar registros para poder alambrar e inspeccionar los conductores, la distancia entre éstos registros depende del tipo y calibre de conductor a emplear, pero generalmente, no es mayor de 30 mts. Se deberán dejar siempre uno o dos ductos vacíos para prever cualquier ampliación, ya que es muy costoso y molesto el tener que hacer una nueva excavación para enterrar el ducto.

El cable enterrado directamente resulta más económico que en ductos, pero no se presta para ampliaciones y su mantenimiento es muy difícil.

El conduit proporciona una buena protección mecánica. Puede ser metálico o de plástico. El metálico tiene la ventaja de servir además como conductor de tierra y disminuír los campos electromagnéticos al exterior, evitando la interferencia en las comunicaciones. En las áreas sujetas a vapores corrosivos resulta ideal el conduit de plástico (rígido, de cloruro de polivinilo); cuando se usa es indispensable llevar un hilo extra de tierra.

c) Visible.

El tipo de instalación visible es ideal en el interior de las fábricas, principalmente por su flexibilidad y facilidad de mantenimiento. Se puede hacerconconduit, metálico preferentemente, en ductos metálicos y en charolas.

Cuando la instalación se hace con conduit, es necesario dejar cajas de registro, tanto para poder alambrar la tubería como para efectuar las derivaciones. Este tipo de instalación puede combinarse con alguna de las otras

dos que es lo que generalmente se hace, usando el conduit para llegar al -- motor o bajar del ducto o charola al tablero o centro de control.

Los ductos y charolas son usados para alimentar cargas o centros de -- carga de cierta magnitud pues su costo es superior al del conduit. La ins-- talación de los conductores en charolas o ductos es muy cómoda, así como - la localización de las fallas en los mismos y su reemplazo; ofrecen además la ventaja de prestarse para la instalación de futuros alimentadores que --- puedan requerirse debido a ampliaciones.

Selección del tipo de cable.

La selección del tipo de cable no solo debe basarse en el tipo de instala- ción, sino que deberán considerarse también las condiciones del área o lo-- cal en que se va a instalar, tales como temperatura, medio ambiente (corro sivo, húmedo, etc.) y servicio que va a prestar. En general puede haber -- dos o más tipos de cable que llenen los requisitos y en este caso, será la -- economía la que dé la decisión final.

Los diferentes tipos de cables usados actualmente y sus principales características son los siguientes:

Alambres y cables de bajo voltaje:

Tipo	Descripción	Temp. Max.	Uso y Condiciones de Instalación
TW	Alambre y cable unipolar de cobre con aislamiento de PVC, para 600 V.	60°C	Distribución de luz y energía en casas o edificios. Instalación oculta en conduit.
TWD	Similar al anterior, pero bipolar, conductores paralelos	60°C	Igual que el TW.
Vinanel 900 ♀	Alambres y cables de cobre, unipolares o tripolares, aislamiento de PVC, para 600 V.	75°C	Uso industrial en ambientes húmedos y corrosivos. Permiten mayores sobrecargas.
Polanel ♀	Alambres o cables de aluminio o cobre duros con aislamiento de polietileno negro.	75°C	Líneas aéreas expuestas a la intemperie.
Po y PVC	Alambres y cables de cobre, unipolar, aislamiento de polietileno chaqueta de PVC	75°C	Energía 1,000 V. En lugares muy húmedos.
Con aislamientos elastoméricos (Neopreno, Vitón, Hypalón) ♀♀	Se usan generalmente como chaquetas sobre aislamiento de hule, pueden tener agregados que los hagan retardadores de flama. Resistentes a la abrasión, al impacto y a los agentes químicos.	75°C	Circuitos de fuerza en baja tensión.

♀ Marcas registradas de Anaconda Pirelli.

♀♀ " " " Du Pont.

ALAMBRES Y CABLES DE ENERGIA

TIPO	DESCRIPCION	VOLTAJE DE OPERACION	U S O
PILC. Aislamiento de papel impregnado, cubierta de plomo.	Tres cables monofásicos, cada cable tiene sus propias cubiertas de plomo y polietileno negro.	15 o 23 KV entre fases en sistema con neutro a tierra.	Distribución de energía. Se deberá instalar en ductos de asbesto cemento, charolas, etc., pero no directamente. Para las terminales usar mufas tipo "scotch" con epoxi.
PE - PVC Polietileno y PVC	Cable de cobre, aislamiento de polietileno, cinta semiconductora de carbón, cinta de cobre suave, cinta de protección, cubierta vinílica negra.	8 ó 15 KV entre fases.	Distribución de energía en sistemas con neutro a tierra, instalaciónen ductos subterráneos o áreas (charolas, ductos). Resistencia a la humedad y agentes químicos.
"H.V.C." tres conductores	Tres conductores dableados entre sí cada uno con cinta semiconductora sobre el cobre. La cubierta exterior puede ser de plomo más plástico o de plomo más fleje de acero con colchón y recubrimiento de yute impregnado.	15 KV	Distribución de energía en sistemas hasta de 15 KV entre fases con neutro a tierra. Los que tienen aplicado fleje de acero (armados) pueden enterrarse directamente. Para las terminales al exterior se recomienda el uso de la mufa convencional, en el interior las terminales pueden ser encintadas.
RINJ Conduzone *	1 ó 3 conductores, sin pantalla (hasta 5 KV máximos), con pantalla arriba de 5 KV. Aislamiento de compuestos a base de butilo vulcanizado: cubierta de neopreno. Conductor de cobre estañado, cinta semiconductora (en 5 KV o más).		Distribución de energía. Se pueden instalar en charolas, en tuberías, en ductos y directamente enterrados. Resistencia al desgarre, humedad, aceite, ácidos y ozono. Los empates y terminales tanto para interior como intemperie pueden ser tipo "scotch".

* Marca registrada de Conductores Monterrey.

Principales designaciones de los diferentes tipos de cables y alambres para circuitos de alumbrado y energías:

TIPO	DESCRIPCION
R	Aislado con hule.
RW	Aislado con hule, resistente a la humedad.
RH	Aislado con hule, resistente al calor.
T	Aislamiento termoplástico, pared delgada.
TW	Aislamiento termoplástico para localidad húmeda.
TA	Aislamiento termoplástico y asbesto, pared delgada, para -- alambrado de tableros.
THW	Aislamiento termoplástico resistente al calor y a la humedad.
RHW	Aislamiento de hule resistente al calor y a la humedad.
RHH	Aislamiento sintético resistente a temperaturas más altas.
RL	Aislamiento de hule, plomo exterior.
A	Cubierta de asbesto.
USE	Cable para servicio subterráneo, uno, dos o tres conducto-- res aislados con hule. Resistente a la humedad, chaqueta de neopreno con cubierta de plomo y armadura liviana.
WP	Resistente a la intemperie.
THWN	Igual que el THW, pero con cubierta de Nylon.

Selección del calibre. -

En la selección del calibre del conductor se deberá basar en las siguien-- tes consideraciones:

a) Capacidad de conducción.

La capacidad de conducción para cables aislados dependerá de la tempera- tura que puedan soportar estos aislamientos, los parámetros que intervie-

nen en el cálculo son: temperatura máxima, temperatura ambiente, pérdidas en el cable, resistividad térmica del medio a través del cual se disipan las pérdidas del cable y el factor de carga; los trabajos más recientes a este respecto son los que aparecen en la publicación IEEE S-135 --- (AIRE IPCEA Ampacity tables). Todos los fabricantes dan tablas para la capacidad de conducción de sus diferentes cables y los factores por los que deberán afectarse estos valores dependiendo de la forma en que se haga la instalación (si es en aire, ducto o tubo; agrupamiento; temperatura del ambiente en que va a operar, factor de carga, etc.)

b) Caída de voltaje y regulación.

Siempre que se tengan alimentadores de baja tensión con longitudes más o menos grandes (100 o más metros), deberá revisarse el conductor seleccionado en cuanto a capacidad de conducción para ver si la caída de voltaje en el extremo receptor está dentro de los límites permisibles; de no hacerse lo anterior se expone tanto a los motores, como a las lámparas a trabajar en condiciones que los pueden dañar.

Generalmente se emplean dos caminos para calcular la caída de voltaje, el primero es con el uso de fórmulas y el segundo (que es suficientemente aproximado para el cálculo en instalaciones industriales) con el empleo de tablas de caída de voltaje contra carga para varios arreglos de circuitos y calibres de conductores.

La fórmula aproximada es

$$dV = (RI \cos a + X_L I \operatorname{sen} a) L$$

donde:

dV, caída de voltaje al neutro en volts

R, resistencia de C.A. a la temperatura de operación en ohms/ Km

X_L, reactancia inductiva en ohms/Km

I, corriente en amperes que circula por el conductor a plena carga

L, longitud del circuito en Km.

cosa, factor de potencia de la carga.

La regulación está dada por

$$\% \text{ de regulación} = \frac{Eo - El}{El} \times 100$$

Donde:

Eo, voltaje de fase a neutro en la alimentación.

E, voltaje de fase a neutro en la carga.

Eo - El, caída de voltaje al neutro.

<u>% PERMITIDO POR EL CODIGO</u>

NEC 3% para motores o cargas de calefacción	3.5 a 4% alimentadores al c.c. y 1.0 a 1.5% en circuitos derivados.
1% para alumbrado o combinación de alumbrado y motores o calentadores	Alimentadores hasta el tablero o centro de distribución 2% circuitos derivados 2%.

Código Nal. 6-2 "La caída de voltaje desde la entrada de servicio hasta el último punto de la canalización, correspondiente a la carga, no deberá ser mayor de 4% para cargas de aparatos y motores y de 3% para carga de alumbrado".

c) Capacidad de corto circuito.

El calibre del conductor deberá ser revisado por último para estar seguros de que al ocurrir una falla, su aislamiento no vaya a sufrir algún daño permanente. La capacidad de corto circuito de un cable aislado es inde--

pendiente de su voltaje de operación, para el cálculo se usa la siguiente fórmula (para conductores de cobre)

$$I^2 cc = A^2 x \frac{0.0297}{t} \log \frac{234.5 + Tcc}{234.5 + T_1}$$

donde:

Icc, capacidad de amperes de corto circuito para calbes aislados.

A, área del conductor en milicircular mills

t, tiempo de duración en segundos, del corto circuito (depende del adi-- tamento de protección).

Tcc, máxima temperatura en °C que soporta el aislamiento en períodos- de corto circuito.

T, temperatura del conductor en °C al ocurrir el corto circuito.

Se puede también con el uso de tablas apropiadas, calcular el conductor - mínimo que puede resistir el corto circuito.

CENTROS DE CARGA Y SUBESTACIONES

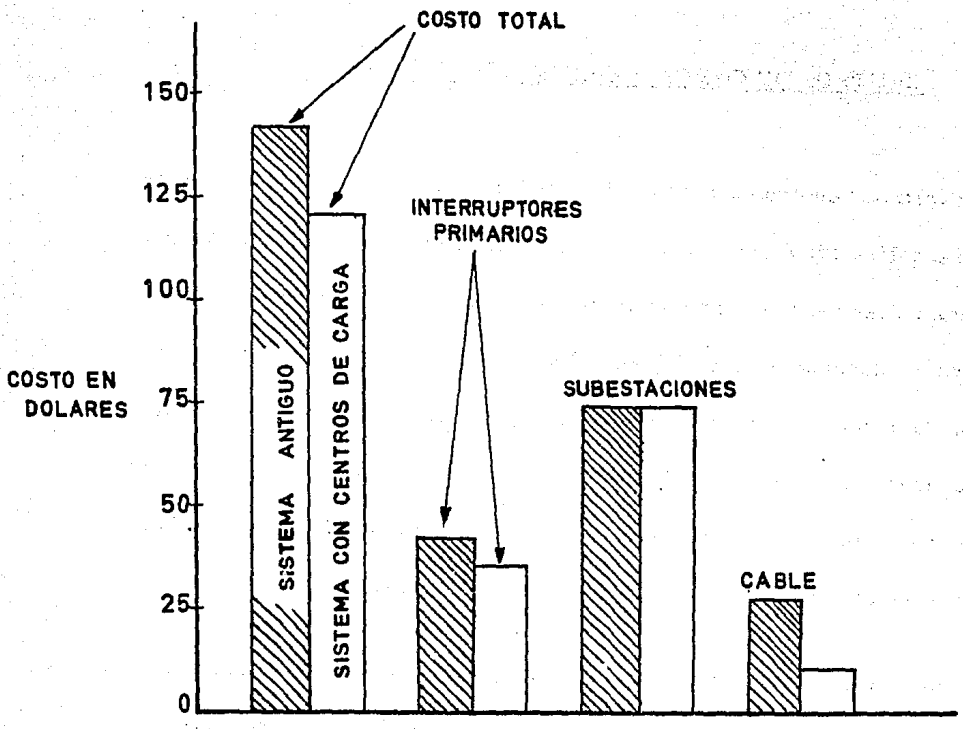
Llamaremos "centro de carga" al punto donde se considera más conveniente la localización de una subestación, para de ella distribuir la energía a cada una de las cargas o grupos de cargas. La determinación de los centros de carga dependerá de la capacidad y voltaje de las cargas, así por ejemplo, se puede tener un centro de carga para un horno o un motor muy grande operando a 2,400 ó 4,160 volts y uno o más centros de carga para los motores a 440 V. La posición ideal para la subestación en cada centro de carga será lo más cercana posible a la carga mayor.

El principio de distribución por centros de carga se basa en llevar la energía a un voltaje más o menos alto (2.4 a 13.8 KV) hasta las subestaciones y reducir este voltaje a los valores apropiados para su utilización; lo anterior dá por resultado el tener alimentadores largos en alta tensión y cortos en baja tensión. Esta característica es la que distingue a este tipo de distribución, que es el usado actualmente y en oposición al sistema antiguo que consistía en tener una gran subestación con capacidad suficiente para proporcionar energía a toda la planta.

Las principales ventajas de este sistema comparado con el antiguo, son las siguientes:

a) Economía:

Los diferentes elementos que intervienen en un sistema y en otro se pueden observar en la figura, de donde se ve que la mayor economía se obtiene en los alimentadores de baja tensión.



En una planta se pueden considerar tantos centros de carga como sea necesario, es decir, de acuerdo con la magnitud de las cargas y la distancia entre estos grupos de cargas, teniendo en cuenta que este sistema resulta económico para centros de carga entre 300 y 750 KVA.

Aún cuando el costo de los transformadores es más alto en esta distribución, ésto se compensa grandemente por la economía en los interruptores secundarios que requerirán una capacidad interruptiva mucho menor que en el sistema antiguo y por la economía en los alimentadores de baja tensión, que serán mucho más cortos.

b) Flexibilidad.

Con la distribución por centros de carga, conforme una planta va crecien

do se van añadiendo nuevas subestaciones pequeñas, sin tener que hacer una inversión muy cuantiosa; en el sistema antiguo se proyectaba una gran subestación para las cargas actuales y reserva para las futuras, la inversión inicial era muy elevada y sucedía muchas veces que el crecimiento que se esperaba de la planta nunca se realizaba, por lo que una gran parte de la inversión quedaba muerta. Al crecer la planta en cualquier dirección siempre será fácil llevar un solo alimentador en alta tensión y colocar la subestación tan cerca del nuevo centro de carga como sea posible; con el sistema antiguo si el nuevo centro de carga se localizaba muy retirado se necesitaban alimentadores en baja tensión de gran capacidad, con los problemas y costo que ésto implica.

c) Pérdida de energía.

Las pérdidas de energía en los alimentadores es un gasto constante para una planta, como estas pérdidas están dadas por I^2R, llevando la energía en alta tensión la corriente será muy pequeña y por tanto las pérdidas se reducirán a un mínimo.

d) Cáida de voltaje.

Con el sistema antiguo de grandes alimentadores en baja tensión, las caídas de voltaje eran muy fuertes, con perjuicio de los equipos, para evitarlo se tenía que recurrir a cables desproporcionadamente gruesos. Con el sistema de centros de carga la caída en alta tensión es despreciable, puesto que los alimentadores en baja tensión son muy cortos el problema se reduce grandemente.

e) Continuidad.

La mejor continuidad de servicio es otra de las ventajas de este sistema, ya que una falla en una de las subestaciones afectará exclusivamente a la carga conectada a esa subestación, además de que se puede lograr una continuidad casi perfecta con alguno de los arreglos de la red de alta tensión mencionados posteriormente.

f) Reducción del corto circuito.

Debido a que las cargas se alimentan de transformadores más pequeños que en el sistema antiguo, los interruptores secundarios requerirán una capacidad interruptiva mucho menor, lo que representa una economía que compensa el mayor costo de los transformadores.

Como ya se vió en el capítulo de "Red de Distribución" (selección de circuitos), existen diferentes arreglos, aplicables todos ellos al sistema de distribución por centros de carga. En general en la industria se emplea el radial que es el sistema más económico y sencillo, que ofrece una continuidad de 99.9% por lo que las posibilidades de fallas son mínimas debido al adelanto técnico en los transformadores y en los cables de alta tensión, especialmente en los de forro a base de hule que elimina una de las posibilidades mayores de falla, que es en las mufas.

Cuando la continuidad de servicio es un factor de primera importancia, se puede recurrir a los arreglos ya vistos como son: selectivo en el primario, selectivo en el secundario y red o anillo; en todos estos arreglos el costo se eleva comparado con el radial, por lo que la selección deberá ser muy cuidadosa en este aspecto.

Diseño de la Subestación.

Hay tres factores principales que intervienen en el proyecto de la subestación para un centro de carga: 1) el voltaje de operación, 2) la capacidad, y 3) la selección y arreglo de las componentes que la integran.

La tensión primaria a la que se alimentará la subestación, así como la frecuencia, dependerá absolutamente de la compañía suministradora por lo que deberá consultarse a aquella para la determinación de estos factores, así como el valor del corto circuito primario. La tensión para el secundario fué estudiada en el capítulo de "Red de Distribución".

La capacidad de una subestación deberá ser determinada de acuerdo con la demanda máxima de la carga. La carga deberá analizarse desde el punto de vista de su naturaleza, es decir, si consistirá básicamente de máquinas-herramientas, hornos eléctricos, equipos de soldar, molinos, alumbrado, etc., y determinarse sus ciclos de operación, es decir, si son cargas que se usen continuamente o sólo en determinado tiempo o etapa del proceso. Aún cuando en la práctica resulta bastante laborioso y a veces se carece de todos los datos, se pueden emplear tablas basadas en la experiencia en muchas otras plantas similares para obtener factores de demanda para cada tipo de carga. A la suma de las demandas máximas en los diferentes departamentos de les puede aplicar un factor de diversidad (también de acuerdo con tablas especiales), ya que estas demandas máximas no ocurren todas al mismo tiempo. A la capacidad así obtenida deberá agregársele un porcentaje (generalmente de 10 a 20%) para futuras ampliaciones no previstas.

La determinación de la capacidad de las diferentes subestaciones pasa a-ser una determinación esencialmente económica afectada por las siguientes-variables: alimentadores primarios, subestaciones, alimentadores e inte---rruptores secundarios. Todos estos puntos actúan en contraposición unos - con otros ya que mientras mayor número de subestaciones se tenga, el costo del cable primario y subestaciones, aumentará pero el de alimentadores e -- interruptores secundarios disminuirá y viceversa; además, el costo de cada-subestación está íntimamente ligado con la capacidad de la misma, para un - voltaje en el secundario determinado y así se ha encontrado por ejemplo que para voltajes secundarios de 220 Y/ 127 V, el tamaño más económico es en - el rango de 300 a 500 KVA, para 440 V el rango es de 500 a 750 KVA.

La capacidad de la subestación determinará generalmente la capacidad -- interruptiva del equipo que deberá usarse para la distribución secundaria; -- este equipo se fabrica nominalmente para los siguientes valores (rcm) asimé tricos: 15,000, 25,000 y 50,000 A. Si queremos usar equipo de 15,000 am-- peres de capacidad interruptiva, el transformador más grande que podremos usar para una tensión secundaria de 440 volts, será de 300 KVA, para equi- po de 25,000 amperes será de 750 KVA.

El espacio disponible es otro factor que deberá considerarse ya que mu-- chas veces puede resultar un factor determinante para la selección de la ca-- pacidad de la subestación; muchas veces será necesario tener una subestación más grande en vez de dos menores o viceversa, debido al tamaño del local - de que se dispone. Lo anterior se aplica principalmente a locales ya cons-- truídos o por lo menos ya proyectados, pero siempre es preferible hacer el-estudio antes de que se proyecte en definitiva el local con objeto de que ésto -

no sea un impedimento en la selección del arreglo que llene mejor las condiciones de la planta.

Como se ve de lo anterior, la determinación de la capacidad de las subestaciones no es un problema que pueda resolverse fácilmente o con el uso de una fórmula, sino que en cada caso, deben estudiarse todos los factores señalados anteriormente y de acuerdo con ese estudio decidir lo que más convenga, considerando como ya sedijo, que los factores que intervienen actúan en contraposición, pero siempre habrá una solución que equilibre mejor todos esos factores.

Componentes de una Subestación.

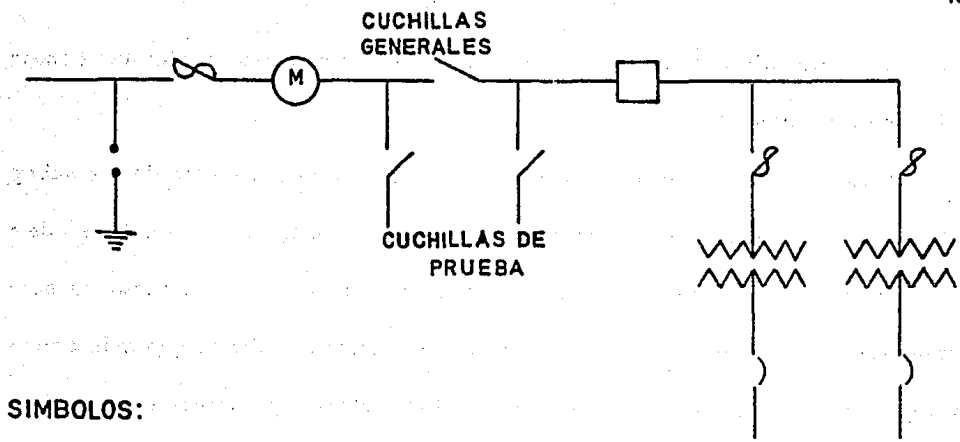
Para comprender mejor las componentes que integran una subestación, empezaremos por trazar el diagrama unifilar en el cual aparecen los diferentes elementos y luego procederemos a analizarlos individualmente.

El uso, descripción y selección de cada uno de los elementos se irá viendo a continuación.

Las subestaciones pueden ser del tipo interior o intemperie, según se localicen bajo techo o al aire. En México es práctica usual el construir las subestaciones con voltaje primario abajo de 20 KV tipo interior y arriba de este valor en la intemperie.

En cualquiera de los dos tipos, las subestaciones pueden ser abiertas o compactas, según que sus componentes se instalen descubiertas o encerradas en uno o más gabinetes.

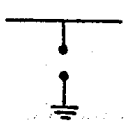
En las subestaciones abiertas se usa una estructura, ya sea de aluminio, fierro galvanizado o madera. La de aluminio es desde luego la más cara --

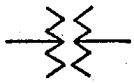


SIMBOLOS:

FUSIBLE DESCONECTADOR.

INTERRUPTOR DE ALTA TENSION


APARTARAYOS


TRANSFORMADOR.

INTERRUPTOR GENERAL DE BAJA TENSION.

EQUIPO DE MEDICION DE LA CIA. SUMINISTRADORA.

pero la de mejor apariencia y resistencia a la intemperie; la de fierro galvanizado es más económica que la de aluminio, pero requiere mayor mantenimiento y se usa generalmente pintada, para evitar la oxidación al momento de fallar el galvanizado; la de madera es las más económica, pero en las instalaciones industriales no se usa debido a su poca rigidez, mala apariencia y menor vida, su uso ha quedado relegado especialmente para estructuras con pequeños transformadores en instalaciones tipo rural.

Tanto las estructuras de aluminio como de fierro galvanizado requieren cimentación especial para empotrar sus extremos y darles rigidéz. Los elementos son generalmente de sección canal y algunas veces de ángulo o dos ángulos unidos para formar una sección cuadrada. Es muy conveniente que todos los elementos se proyecten para atornillarse y no de soldar, dando más-

facilidad para su montaje y para el cambio o adición de cualquier elemento.

Al dimensionar una estructura para una subestación deberá pensarse en las dimensiones del equipo que va a alojar, así como en las distancias mí-- nimas permisibles entre conductores o entre un conductor y tierra; para lo- anterior es conveniente hacer uso de la tabla mostrada a continuación:

VOLTAJE (entre fases), volts.	DIST. MINIMA A TIERRA (cms.)	(pulg.)	DIST. MINIMA ENTRE FASES (cms.)	(pulg.)	ALTURA MINIMA DE LAS PARTES VIVAS (mts.)	DISTANCIA HORIZONTAL MINIMA A LAS PARTES VIVAS (mts.)
250	3.8	1-½	5.1	2		
600	5.1	2	6.4	2-½	2.40	0.98
1100	6.4	2-½	8.9	3-½	2.40	0.98
2300	7.0	2-3/4	10.2	4	2.40	0.98
4000	7.0	3	11.4	4-½	2.40	0.98
6600	7.6	3	11.4	4-½	2.40	1.00
7500	8.3	3-¼	11.4	4-½	2.50	1.00
9000	8.9	3-½	11.4	4-½	2.60	1.00
11000	9.5	3-3/4	12.1	4-3/4	2.70	1.05
13200	10.8	4-¼	12.7	5	2.70	1.05
15000	11.4	4-½	14.0	5-½	2.70	1.05
16500	12.7	5	15.3	6	2.70	1.05
18000	15.2	6	17.8	7	2.75	1.10
22000	17.8	7	22.9	9	2.80	1.15
26000	22.9	9	30.5	12	2.90	1.20
35,000	30.5	12	38.1	15	3.00	1.25

Los fusibles desconectadores mostrados en el diagrama unifilar, son seleccionados por la compañía suministradora, de acuerdo con los parámetros del circuito en ese punto. Estos fusibles constituyen una protección de respaldo del interruptor de alta tensión, ya que si este llegara a fallar se podrían ocasionar grandes daños a las líneas de la Compañía o a los equipos de otros usuarios.

El equipo de medición también es seleccionado por la compañía suministradora, pero es necesario prever un espacio para alojarlo, si la subestación es abierta en la estructura y si es compacta dejando un gabinete suficiente para alojar dicho equipo y las mufas de remate del cable subterráneo.

Los apartarrayos fueron tratados en el capítulo de Red de Distribución, y sólo añadiremos que en las subestaciones abiertas se colocan generalmente a la llegada de la línea de alta tensión, bajando un cable de cobre desnudo para ponerlos a tierra; en las subestaciones compactas se alojan por lo general en el gabinete para el equipo de medición.

Las cuchillas generales sirven para aislar completamente la subestación del sistema alimentador y pueden ser de operación individual o en grupo. Actualmente se prefiere las de operación en grupo tanto en subestaciones abiertas como compactos ya que para su operación se elimina el uso de una pértiga desconectadora que requiere de habilidad y bastante espacio para operarla. La selección de las cuchillas deberá hacerse de acuerdo con el voltaje de trabajo y la corriente en el lado de alta tensión y para servicio interior o intemperie.

Lo mismo puede aplicarse para las cuchillas de prueba, que son 6 cuchi-- llas unipolares o dos juegos de cuchillas de operación en grupo. Uno de estos juegos lo emplea la compañía suministradora para conectar su equipo de me-- dición y el otro para conectar los transformadores y aparatos necesarios para verificar en un momento dado la exactitud de este equipo, sin tener que inte-- rrumpir el servicio. Debe pensarse en el espacio y estructura necesaria --- para alojar estas cuchillas, tanto en las subestaciones abiertas como en las - compactas.

A continuación del equipo descrito anteriormente, y como una parte vital de la subestación tenemos el interruptor de alta tensión que es un dispositivo que puede asumir una o varias de las funciones siguientes:

1) Conectar o desconectar la línea o fuente de alimentación,
2) Interrumpir corrientes de corto circuito,
3) Proteger contra sobre cargas,
4) Proteger contra sobre voltajes o bajos voltajes o falla de fase.

Las funciones 1) y 2) las efectúan normalmente todos los interruptores, -- las 3) y 4) las pueden efectuar algunos de ellos mediante el uso de relevadores especiales.

Las características de los interruptores (clase, tensión, corriente nominal, capacidad interruptiva, etc.) las vimos con detalle en el capítulo de Red de --- Distribución en la sección Tableros de Alta Tensión.

Cuando el interruptor se instala en la subestación receptora (la que recibe

la alimentación de la compañía suministradora) deberá tener una capacidad -- interruptiva fijada por la compañía, de acuerdo con sus parámetros. Para el Distrito Federal las capacidades interruptivas exigidas por la Compañía de -- Luz y Fuerza son como sigue:

Para 6,000 volts	100 MVA
Para 13,200 volts	150 MVA
Para 20,000 volts	750 MVA

Por el medio de extinción del arco dentro del interruptor, éstos se pueden clasificar en:

a) Interruptores en aceite,

b) Interruptores en aire o en gas,

c) Interruptores en vacío.

Los interruptores en aceite son de una construcción muy robusta y han probado su eficiencia a través de muchos años de uso.

Los hay de volumen normal y de pequeño volumen de aceite que usan aproximadamente la décima parte que los de volumen normal y de ésto sólo una pequeña cantidad interviene en la extinción del arco. Cada tipo tiene sus ventajas y desventajas, pero desde luego los de pequeño volumen son más delicados.

La apertura de los contactos se hace dentro del aceite y la extinción del -- arco se logra ahogándolo en este medio.

El aceite debe probarse por lo menos cada año o cuando la severidad de alguna operación así lo amerite; la resistencia dieléctrica del aceite nuevo deberá ser de 30,000 V mínimo y la mínima permisible de 16,000 V, probado en un chispómetro con discos de 1 pulgada de diámetro a una distancia de 1/10 de

pulgada.

Los contactos pueden estar alojados en un tanque con aceite para cada fase o en un tanque común para las 3 fases, con barreras separadoras.

Los interruptores en aceite son indispensables en lugares con atmósferas impuras (conteniendo polvo, vapor, humedad, etc.), pero en la actualidad -- están tendiendo a ser desplazados, tanto para uso interior como exterior por los interruptores en aire.

Los interruptores en aire se fabrican básicamente en dos tipos: de soplo - magnético y de aire comprimido.

Los de soplo magnético son operados generalmente por un solenoide y lo-- gran la interrupción del circuito en la atmósfera normal bajo la influencia de - un campo magnético que actúa, con ayuda de un soplo de aire desde abajo, para forzar el arco a pasar después de los contactores a unos cuernos de arqueo y - luego al conducto donde está el campo magnético, alargando el arco y enfriándolo, con lo cual se produce su extinción.

Los interruptores de aire comprimido se usan generalmente para voltajes más altos que los de soplo magnético. El aire comprimido se usa tanto para- operar el interruptor como para proveer el medio para su interrupción. Un - chorro de aire a presión (de 150 a 250 libras/pulgada cuadrada) se dirije transversalmente a la trayectoria de los contactos, forzando el arco a pasar a una - cámara especial donde se enfría y desioniza hasta el punto de extinguirlo.

Recientemente se están empezando a emplear interruptores en vacío, ya -- que el vacío es el mejor aislante que existe, la interrupción en él es la más -- eficaz y se realiza en un tiempo aún más corto que en los interruptores en aire

y utilizando un mecanismo muy sencillo. Se están fabricando actualmente para operación hasta 23 KV, con una capacidad interruptiva máxima de 500 MVA en 23 KV.

Disparo y cierre de los interruptores.

El disparo de un interruptor, es la acción de energizar un solenoide llamado "bobina de disparo" para que desatore un sistema mecánico de resortes conteniendo suficiente energía para desplazar rápidamente los contactos móviles, en un lapso de 2 a 8 ciclos; al producirse la separación de los contactos un sistema inherente (en los interruptores en aceite) o externo (en los de aire o gas), da un valor aislante necesario para efectuar la interrupción e impedir la reignición del arco.

Como fuente de energía para el disparo se usa generalmente la corriente directa, que se obtiene de una batería a 125 volts.

Si la energía para el disparo es pequeña como sucede en los mecanismos de resorte precomprimido, en lugar de la batería se puede usar un condensador. El cierre del interruptor se efectúa también por lo general con energía eléctrica, que puede proceder de la misma fuente que la del disparo, requiriéndose aproximadamente 20 veces la necesaria que se requiere para el disparo. Los mecanismos de resorte precomprimido accionados por motor y los neumáticos, permiten uno o más cierres después de fallar la alimentación a los motores.

Una solución económica usada frecuentemente en lugar de un interruptor automático como los enunciados, la ofrecen los interruptores o desconectadores con carga y equipados con fusibles. Son una combinación de cuchillas desconectadoras en serie con interruptores fusibles de potencia, con lo que se

logra la protección contra corto circuito. En algunos modelos la falla en una fase hace que abran las otras dos, con lo que se evita la operación monofásica. Pueden tener también relevadores de protección conectados a su bobina de disparo con objeto de lograr otra protección requerida.

Los fusibles contienen en su interior algún gas de muy alto poder dieléctrico, como ácido bórico, que se vaporiza y disocia debido a la elevada temperatura que se produce al ocurrir un corto circuito y que barre violentamente el gas ionizado reemplazándolo por gas de muy alto poder dieléctrico, interrumpiendo la corriente en el primer cero de corriente (medio ciclo).

Este tipo de interruptores tiene el grave inconveniente de que el fusible se destruye al operar por lo que es necesario cambiarlo, obligando a parar la planta el tiempo necesario para efectuar el reemplazo, debiéndose además tener siempre fusibles de reserva.

Cuchillas desconectadoras.

Se llama así a los dispositivos usados para separar una línea, un interruptor o una máquina de un sistema, ya sea para efectuar cambios o reparaciones, desconectar transformadores o ramales sin carga. Deben ofrecer completa seguridad contra apertura o cierre involuntarios, por lo que generalmente están provistas de seguros, que accionan únicamente cuando se usa la pértiga apropiada. El mecanismo de apriete de la cuchilla cuando está cerrada debe tener suficiente presión y área de contacto para evitar calentamiento. Deben estar perfectamente montadas sobre los aisladores para que no haya posibilidad de escape de corriente de la parte viva hacia la parte desconectada, por lo que la base y el mecanismo no vivos deben conectarse a tierra.

Algunos desconectadores están provistos de medios especiales de interrupción como cuernos de arqueo, resortes de separación violenta u otros medios, lo que permite que funcionen como interruptores de baja capacidad.

Pueden ser de operación individual o en grupo y esta última puede ser manual o a control remoto operadas por un motor.

Las cuchillas fusibles como se muestran en el diagrama unifilar de una subestación, al principio del capítulo, se usan como una protección individual para cada transformador o para abrir el circuito (sin carga) y aislar el transformador. Las características de las cuchillas fusibles se mencionaron en el capítulo de Red de Distribución.

Transformadores.

Cualquier industria actualmente requiere el empleo de uno o más transformadores para reducir el voltaje de entrega de la compañía suministradora al voltaje adecuado para su utilización. El uso de los transformadores, o sea de una o más subestaciones se hace indispensable en una industria debido principalmente a las siguientes causas:

1.- La carga de una industria es imposible abastecerla a baja tensión ya que ésto obligaría a la compañía suministradora a tener unos alimentadores excesivamente gruesos y con una pésima regulación de voltaje.

2.- Por la economía que representan los alimentadores en alta tensión, la diferencia entre las tarifas en alta y baja tensión es tan grande que permite la amortización de la inversión en la subestación en un período de 5 a 10 años.

3. - El empleo de la alta tensión se presta a la distribución por centros de carga, con la consiguiente economía en los alimentadores e interruptores, como se mencionó al principio de este capítulo.

El principio de operación de los transformadores se puede encontrar en --- cualquier libro de texto, por lo que aquí se mencionarán solamente los factores que deberán considerarse para su selección.

Un transformador para una subestación se define por las siguientes características:

a) Capacidad

b) Número de fases

c) Frecuencia

d) Medio refrigerante

e) Tensión en el primario

f) Derivaciones

g) Tensión en el secundario.

h) Conexión en el primario y secundario

i) Altura de operación

j) Impedancia

k) Accesorios especiales, condiciones de servicio especiales.

a) La capacidad de la subestación y por tanto del transformador se mencionó - al principio de este mismo capítulo y sólo deberá agregarse que la vida de un -- transformador depende de la conservación de la temperatura en los devanados, es decir, de las sobrecargas que pueda tener el transformador. La capacidad de un transformador son los kilovolt-amperes que puede llevar continuamente

sin que la elevación de temperatura de sus devanados sea mayor de 55°C sobre un ambiente promedio de 30°C y que no sobrepase 40°C. Bajo estas condiciones un transformador debe tener una vida de 15 a 20 años. La tabla siguiente da los valores de sobrecarga y su duración, respecto a la carga preliminar, en por unidad de la capacidad nominal, sin sacrificar la vida del transformador:

Período horas	CARGA ANTERIOR 0.50	0.70	0.75	0.90
1/2	1.65	1.55	1.40	1.20
1	1.50	1.40	1.28	1.11
2	1.30	1.28	1.19	1.09
4	1.20	1.18	1.10	1.05
5	1.15	1.12	1.09	1.04

b) Actualmente se puede decir que todos los transformadores para uso industrial son trifásicos, que cuestan aproximadamente 70% de 3 monofásicos con unidad de refacción y ocupa 30% del espacio de éstos.

c) La frecuencia del transformador está dada por la frecuencia del alimentador de la Cía. de Servicio Público.

d) El medio refrigerante más usual es el aceite, pero en instalaciones bajo techo o donde un incendio provocado por el aceite tendría graves consecuencias, se usa un aceite sintético no combustible o el aire en los tipo seco. Según el Reglamento de Instalaciones Eléctricas, en México no es obligatorio usar alguno de los dos tipos últimos en instalaciones interiores y sólo se deberá tener un cuarto propio con drenaje para evacuar el aceite que se pueda derramar.

Los transformadores pueden tener algunos de los siguientes métodos de --

refrigeración para aumentar su capacidad:

Auto enfriamiento simple	100% KVA
Con ventiladores	125% KVA
Con ventiladores y bombas	166% KVA

Por lo general en las plantas industriales sólo se usa el método de ventilación propia, llegando en algunos casos a usarse al aire forzado cuando se hace necesario un aumento en la capacidad de los bancos instalados o cuando la carga en determinado momento puede tener un "peak" muy alto.

e) Cuando el transformador se va a conectar a las líneas de la Cía. de Servicio Público, la tensión deberá ser la misma que la de las líneas. Cuando se va a tener una distribución por centros de carga, deberá considerarse lo visto en el capítulo de Red de Distribución.

f) Normalmente los transformadores se fabrican con cambiador de derivaciones, sin carga, de 2 pasos arriba y 2 pasos abajo de 2.5% cada uno del voltaje nominal en alta tensión. Las variaciones de la carga pueden hacer que el voltaje fluctúe y en este caso, puede resultar conveniente la instalación de un cambiador automático de derivaciones bajo carga, pero debe tenerse mucho cuidado antes de especificarlo por el aumento en el costo y el mantenimiento adicional que requiere. En general su uso no es recomendable para 2000 KVA o menos.

g) La tensión en el secundario dependerá de la decisión tomada respecto de la selección de voltaje vista en el capítulo de Red de Distribución.

h) La conexión en el primario y secundario de un transformador aislado de otros puede ser cualquier y pertenecer a cualquier grupo de polaridad. Para

cada aplicación en especial hay conexiones más ventajosas que otras, para -- bancos o transformadores para alimentar servicios industriales las conexio-- nes más empleadas son:

Conexión delta-delta que presenta las siguientes características:

En el lado de alta impide que el banco actúe como banco de tierra para el sistema que lo alimenta, por lo que está expuesto a corrientes no controlables por el usuario y que pueden ser peligrosas para los transformado-- res.

En el lado de baja reduce considerablemente las corrientes, lo que pro-- duce una economía en el costo del transformador y en los conductores de distribución y equipo como interruptores y transformadores de corriente.

Un defecto de esta conexión es no dar paso a corrientes de secuencia cero, que se originan en fallas desequilibradas.

Conexión delta en el lado de alta y estrella en el lado de baja.

Esta conexión es la generalmente usada en los transformadores de utili-- zación por las siguientes razones:

La delta del lado de alta estabiliza el neutro del lado de baja e impide efec- tos perjudiciales en los circuitos de comunicación, debido a terceras ar-- mónicas.

La estrella en el lado de baja permite tener un neutro para conectar car-- gas monofásicas, como alumbrado, contactos y pequeños motores.

i) Al seleccionar un transformador debe tenerse en cuenta la altura a la cual - va a operar, especialmente en la República Mexicana en la que tenemos alturas

desde 0 hasta 2,400 metros sobre el nivel del mar. Las normas indican la capacidad del equipo a 1,000 metros sobre el nivel del mar y a medida que la altura de operación aumenta, la capacidad disminuye, ya que la disipación del calor por convección disminuye por la reducción de la densidad del aire.

Asimismo las separaciones aislantes en aire reducen su valor dieléctrico a un 87% para una altura de 2,400 metros, como en la ciudad de México.

j) La impedancia es un dato muy importante cuando se requiere la operación de transformadores en paralelo, con objeto de que la divisi´on de la carga sea correcta entre las unidades. Se pueden especificar también impedancias especiales con objeto de limitar las corrientes de corto circuito.

Fuera de los dos casos especiales mencionados, especificar una impedancia fuera de lo normal representa un costo adicional que puede ser muy alto, de acuerdo con la diferencia entre el valor normal de la impedancia y el valor de la especificada.

k) Algunas veces la forma o condiciones en que va a operar un transformador requieren que este tenga algunos accesorios o aditamentos especiales como pueden ser gargantas en el lado de alta o de baja o en ambos, para acoplarlos a gabinetes; contactos de alarma, conservador, relevadores especiales, etc. Generalmente todos los transformadores en México son fabricados bajo las normas NEMA, que establecen de acuerdo con la capacidad y voltaje de operación los accesorios (indicador de nivel y temperatura del aceite, cambiadores de derivaciones, válvulas para drenaje y muestreo, etc) que deberá llevar cada unidad.

La protección de los transformadores varía según la capacidad, costo e importancia de éstos, así como con las condiciones de operación.

La protección usual es por medio del interruptor ya descrito en este capítulo, o en el caso más sencillo con fusibles primarios.

Cuando el caso lo requiere se emplean relevadores, como los diferenciales, direccionales, Bucholz, etc. Para la preservación del aceite, se puede usar el tanque de expansión o conservador, la cámara sellada o el más eficaz que es el de la cámara de nitrógeno, que consiste en sustituir el aire por nitrógeno con un depósito adicional para prevenir un vacío excesivo en la cámara, este sistema no es recomendable, por lo costoso, para unidades menores de 3000 KVA.

Existen también relevadores térmicos para evitar que el transformador se caliente más de los límites seguros y que siguen la temperatura en el punto más caliente del devanado, operando alarmas o disparando el interruptor o arrancando ventiladores o bombas al llegar a un punto crítico.

Para la protección contra sobre tensiones se emplean los apartarrayos, ya descritos en el capítulo anterior.

Sistema de Tierras.

Haremos tres divisiones principales:

1.- Sistema de tierras para neutros de transformadores.

2.- Sistema de tierras para estructuras y partes metálicas no energizadas de los equipos.

3.- Sistema de tierra para apartarrayos.

1.- En las instalaciones industriales y especialmente en distribución a 480 volts, los transformadores son delta estrella con neutro sólido a tierra, ésto tiene las siguientes ventajas:

a). Reducción en magnitud de sobrevoltajes transitorios.

b). Mejora la protección de los apartarrayos,

c). Simplifica la localización de fallas a tierra,

d). Mejora la protección contra fallas de los equipos,

e). Ofrece mayor seguridad al personal y al equipo.

2.- El objeto de conectar a tierra las partes metálicas de las estructuras y equipos es tenerlas siempre a un potencial cero, para que si accidentalmente una línea energizada llegue a tocarlas, éstas no queden sometidas al potencial de esa línea, con el consiguiente peligro para las personas -- que se pongan en contacto con esas partes.

3.- La efectividad de la operación de los apartarrayos depende de la efectividad de su conexión a tierra. Para voltajes de 13.2 KV o superiores no - se recomienda cable menor de 1/o y debe procurarse que éste tenga el menor número de curvas, o hacerlas muy abiertascuando se requieran. No es recomendable interconectar el sistema de tierras de los apartarrayos al - sistema general ya que algunas ondas de frente muy escarpado pueden meterse al neutro, dañando el aislamiento de los equipos.

Los sistemas de tierra se componen generalmente de una o más varillas de cobre de 3 metros de largo y 15 mm de diámetro, que actúan como electrodos- hundiéndolos verticalmente en el terreno y colocados a una distancia mínima de 3 metros uno de otro y conectados entre sí por medio de cable desnudo de calibre no menor de 1/o. El número de electrodos debe ser suficiente para lograr una resistencia lo más baja posible (el Reglamento permite una máxima de 25 - ohms), para lo que deberán colocarse un mínimo de 3 electrodos, dependiendo-

su número y distancia entre sí de la naturaleza del terreno. Como ya se dijo, se tratarán de reducir al mínimo las curvas y darles a éstas un radio suficiente para que no constituyan un punto de transición que obligue a las ondas a una reflexión. Las tuberías de agua, cuando son subterráneas y contínuas, constituyen buenos electrodos.

Los conectores por estar enterrados y a la intemperie tienen el problema de la corrosión por lo que se recomienda que sean de cobre y del tipo de soldar para conseguir una buena conexión.

Subestaciones Unitarias.

Las subestaciones unitarias se usan para bajar el voltaje primario de distribución a un voltaje de utilización, en el lugar mismo de su utilización y para desconectar y proteger los circuitos alimentadores de baja tensión.

El uso de las subestaciones unitarias se presta grandemente al moderno concepto de distribución por centros de carga ya que éstas reúnen todas las características para encajar en cualquiera de los sistemas de distribución mencionados.

Algunas ventajas de las subestaciones unitarias son las siguientes:

1) Su diseño y coordinación están hechos por el fabricante, dando por resultado una subestación compacta, fácil de adquirir y con una garantía de parte de la fábrica.
2) Su costo es menor ya que pueden ser producidas en serie.
3) Su construcción es blindada, "de frente muerto", que proporciona gran seguridad.
4) La reposición de cualquiera de sus partes se hace por un número de catá--

logo ya que rara vez tienen componentes que no sean de producción en se-- rie.

5) Su transporte es más seguro ya que el mismo gabinete sirve de protección a los equipos.

6) La instalación se simplifica enormemente sin tener que recurrir a impro-- visaciones en el campo sino que toda la maniobra se reduce a unir las sec- ciones.

Las subestaciones unitarias pueden ser de dos clases, dependiendo del voltaje de los circuitos que alimentan: primarias, cuando el voltaje en el lado de - baja es de 601 volts o superior; secundarias, cuando el voltaje es de 600 volts o menos.

Por lo general se componen de tres secciones:

Sección de llegada. - Consiste principalmente de mufas para recibir el ca-- ble que entrega la energía, un desconectador y posiblemente fusibles para protección del transformador.

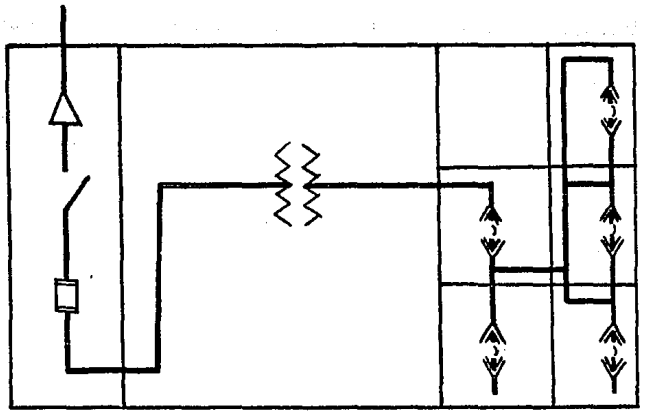
El desconectador puede ser en aire, en aceite, tipo deslizante con desco-- nectador y fusible, interruptor de soplo magnético, etc., según la capacidad, voltaje y condiciones en que vaya a operar cada centro de carga.

Sección de transformación. - Esta sección aloja el transformador para convertir la energía a un voltaje adecuado para su utilización.

El transformador puede ser con cualquier medio de refrigeración: en -- aceite, en líquidos no inflamables o seco.

Sección de baja tensión. - Contiene los interruptores necesarios para la - protección de los circuitos derivados. Siempre es preferible incluir un inte-

SUBESTACION UNITARIA.



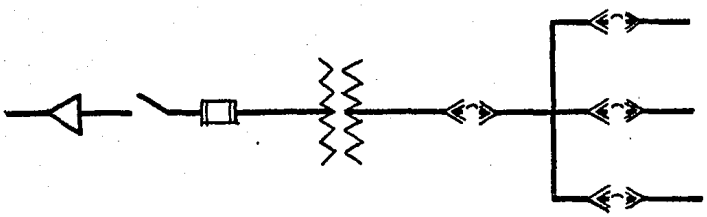


DIAGRAMA UNIFILAR.

rruptor principal secundario ya que permite la rápida desconexión de la ener-- gía en caso de emergencia, permite cambiar un sistema radial a selectivo en - el secundario y simplifica el entrelace con el interruptor primario, cuando exis_ te.

Los interruptores pueden ser del tipo deslizante, de caja moldeada o para control centralizado de motores.

Las subestaciones unitarias pueden presentar una gran variedad de arre--

glos según sea la forma en que se van a instalar (interior o intemperie), el -- arreglo de los circuitos (radial, secundario selectivo), con o sin equipo de -- medición e instrumentos, etc.

SELECCION DE MATERIALES Y PRESUPUESTO.

La selección de los materiales es una etapa muy importante en cualquier proyecto y especialmente en una planta industrial. Representa el resumen del estudio hecho sobre las diferentes formas de ejecutar una instalación, después de analizarlas desde todos los puntos de vista: funcionamiento (en condiciones normales y de falla), seguridad (tanto para el personal como para los equipos), flexibilidad, margen de ampliaciones, etc., y economía; debe ser pues la selección de los materiales la mejor solución a todos los aspectos mencionados y capaz de realizarse al menor costo posible.

Antes de especificar algún material o equipo, deberán tenerse en mente los siguientes puntos:

1. - Especificar únicamente equipos y materiales de fabricantes que puedan garantizar sus productos mediante el correspondiente registro en la Dirección General de Electricidad (D. G. E.), y amparados por normas de calidad reconocidas.

2. - Que los equipos y materiales sean los adecuados, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, para aplicarse en cada caso, de acuerdo con las condiciones especiales de la instalación proyectada.

3. - Que el fabricante pueda proporcionar el equipo requerido, ya sea porque lo tiene en inventarios o porque es capaz de fabricarlo de acuerdo con las características en las que nos basamos para seleccionar ese material o equipo. Es decir, sucede muchas veces que al especificar determinado equipo seleccionado en un catálogo nos encontramos que ya no se fabrica por haber quedado sustituído por otro mejor o haber cambiado algunas de sus características.

4. - Apegarnos siempre a lo prescrito por los reglamentos y normas al res-

pecto.

Para poder llenar todas las necesidades de una planta con la menor inversión posible en el sistema eléctrico, es necesario hacer una comparación económica de los diferentes arreglos del sistema. La solución que a primera vista nos pareció la más conveniente puede resultar incosteable y sin embargo se puede tener algún otro arreglo ya sea en los centros de carga o en la red de distribución, que cumpla con las condiciones de seguridad, continuidad, etc., requeridas por la planta y que se pueda obtener a un costo mucho menor.

Supondremos pues que ya se ha hecho el mejor estudio posible de las cargas y su localización, del grado de continuidad requerido, de la flexibilidad necesaria en el sistema de acuerdo con el proceso a que se refiera, así como de los factores especiales en cada caso. Con todo lo anterior tendremos o estaremos en posibilidad de elaborar los planos y diagramas necesarios, indicando en ellos las vistas de planta de la instalación a escala, con la localización de las cargas y tableros de control de donde se alimentarán y controlarán dichas cargas, con los calibres de conductores y diámetro de las tuberías necesarias. Debemos conocer además la forma y distancia desde donde se alimentarán los tableros y capacidad de dichos alimentadores, así como tener el proyecto completo de las subestaciones en los diferentes centros de carga, con la especificación de la capacidad, forma de instalación, aditamentos de protección y control, etc., es decir, debemos de tener un proyecto en el cual se indiquen todos los elementos que intervienen en el sistema eléctrico con objeto de estar en condiciones de elaborar un presupuesto adecuado para su ejecución.

El intentar elaborar un presupuesto sin tener todos los datos mencionados

y acompañado de los diagramas unifilares y diagramas auxiliares complementarios que se hagan necesarios, puede llevarnos a omitir equipos o materiales o a subestimar la mano de obra requerida para la instalación, con las consecuencias derivadas de ello en el aspecto económico.

La elaboración de un presupuesto requiere, en general un cuidadoso análisis de los siguientes conceptos:

a) Equipos y materiales,

b) Mano de obra,

c) Indirectos,

d) Utilidad.

a) Equipos y materiales.

El primer paso para lo que constituye la elaboración del presupuesto, es la cuantificación de los materiales y equipos indicados en los planos y necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Para obtener una lista de materiales y equipos completa se requiere que la persona que la vaya a elaborar tenga suficiente experiencia para visualizar la instalación y mentalmente ejecutarla con objeto de no omitir ninguna parte o componente de ella. Lo anterior presupone asimismo un desglose de los elementos ya que muchas veces algunos de ellos sólo se indican simbólicamente y en realidad se componen de varios elementos que se deben considerar por separado.

El conteo de las partes y la medida son dos aspectos muy importantes y que implican experiencia y cuidado de parte del que los ejecuta.

Después de terminada la formulación de los diferentes elementos que inter-

vienen se deberá hacer un resumen de ellos en forma de lista, para proceder a valuarlos.

Al valuar una lista de materiales se deberá tener sumo cuidado de que los precios sean los actuales y a ellos se les aplicará el descuento convenido con el proveedor. Se deberá considerar un porcentaje de imprevistos, de acuerdo con la naturaleza de la obra, para absorber los materiales misceláneos imposibles de prever o contar. Se deben incluir también en esta lista las herramientas de consumo tales como brocas, seguetas, etc.

Cuando la obra en cuestión no está en el lugar de adquisición de los materiales o equipos, deberá considerárseles a estos el flete, que actúa como un incremento en el costo de ellos.

Una vez terminada la lista deberá revisarse en lo que se refiere a equipos mayores (transformadores, tableros, arrancadores, motores, etc.) ya sea con los planos o las especificaciones, o ambos, con objeto de asegurarnos que no hemos omitido nada.

b) Mano de obra.

Al formular nuestro presupuesto debemos de tener en mente que cualquier material para ser instalado requiere más o menos trabajo y que el no considerarlo puede desvirtuar grandemente el valor del mismo.

La valuación de la mano de obra es uno de los aspectos más difíciles ya que cada obra tiene sus problemas especiales que hacen sumamente difícil el cálculo de la misma. Para hacer una apreciación más o menos real se requiere un conocimiento perfecto de las condiciones de la instalación y una buena experiencia de los tiempos requeridos para efectuar cada etapa del proceso.

En los Estados Unidos es práctica general el recurrir a tabuladores que indican con más o menos precisión las horas-hombre requeridas para ejecutar los diferentes trabajos. Estos tiempos son el resultado de un gran número de observaciones y representan el promedio de ellas. A los valores así obtenidos los afectan factores de acuerdo con las condiciones especiales de cada trabajo; los principales factores son:

Tiempo muerto: es el tiempo en que las cuadrillas de electricistas deben esperar para poder intervenir, por ejemplo mientras se prepara la cimbra para un colado. Se considera como una determinada cantidad de horas.

Clima: las condiciones extremas de frío o calor afectan el tren de trabajo. En obras exteriores la lluvia es un factor que puede representar un retraso en los trabajos. Se considera un porcentaje que varía de 0 a 20%.

Tamaño y forma de la obra: son factores que influyen en la eficiencia de los operadores, es más fácil y rápido ejecutar una obra grande en una sola planta que en varias plantas. El tamaño de la obra también influye en la eficiencia, ya que en una instalación pequeña solamente se puede avanzar en determinada etapa, mientras que en una grande hay varias etapas en las cuales se puede trabajar. El porcentaje varía de 0 a 10% y se toma como base los metros cuadrados de construcción.

La complejidad de la obra también influye, así por ejemplo si además de la instalación eléctrica se tiene aire acondicionado, vapor, agua, aire, etc., dará lugar a posibles retrasos o cambios para coordinar los diferentes sistemas. Se debe añadir a las horas base de un 0 a 15%.

La suma de las horas-hombre obtenidas de los tabuladores o por aprecia--

ciones según la experiencia del que formula el presupuesto, deberá añadirse a las horas que resulten al aplicar los diferentes factores.

Al considerar el costo de la hora-hombre, es importante conocer el salario base del trabajador de acuerdo con el lugar donde se vaya a ejecutar la -- obra y a éste añadir la parte proporcional del séptimo día y la cuota del Seguro Social correspondiente.

c) Indirectos.

Toda obra implica determinados gastos para ejecutarla, dichos gastos deben considerarse en la elaboración del presupuesto, los principales son:

Gastos de despacho: por lo general representan un porcentaje ya establecido para cada contratista de acuerdo con sus gastos en personal administrativo y contable; renta, luz y teléfono del despacho.

Supervisión de la obra: que depende del tamaño, complejidad y tiempo de - terminación de la instalación.

Proyecto: deberá incluir el costo del departamento de ingenieros, técnicos y dibujantes requeridos para la elaboración del proyecto, planos, especificaciones, etc.

Herramientas: de acuerdo con el tipo de obra se deberá estimar tanto el -- costo de su mantenimiento como la depreciación de las mismas (taladros, soldadoras, tarrajas, dobladores hidráulicos y manuales, escaleras, etc.).

d) Utilidad.

Como cualquier otra actividad, la instalación eléctrica deberá rendir una - utilidad que se calculará como un porcentaje sobre los materiales y mano de - obra empleado y dicha utilidad deberá cubrir los intereses del capital, conside-

rando el grado de riesgo a que trabaja dicho capital.

Reunidas todas las cifras anteriores, estaremos en condiciones de presentar un precio para un contrato o el costo para una posible ampliación de la fábrica donde prestemos nuestros servicios.

INSTALACION DEL EQUIPO DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO.

El Reglamento de Obras o Instalaciones Eléctricas, como lo indica en la introducción en el Artículo 1o. "tiene por objeto, principalmente, salvaguardar a las personas y a sus intereses de los riesgos que se originan con el -- uso de la electricidad". No pretende el Reglamento ser un tratado técnico -- que resuelva los problemas teóricos o prácticos que se puedan presentar en - el proyecto o ejecución de una obra, sino que es un conjunto de disposiciones mínimas que deben observarse para considerar una instalación dentro de -- los límites de seguridad.

El actual Reglamento es del año de 19 50 al aparecer en el Diario Oficial el día 31 de marzo. Muchos de los términos y conceptos contenidos en él, resultan anticuados y algunas veces inoperantes, por lo que está siendo sometido a una revisión iniciada desde 1962 a través de un Comité Permanente de Actualización del Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas, integrado tanto - por intenieros de instituciones gubernamentales como privadas, se espera que muy pronto se tenga listo y que verdaderamente sea un reglamento de acuerdo- con las nuevas técnicas y materiales que han venido desarrollando.

Este reglamento fué redactado tomando como guía las disposiciones vigentes en los Estados Unidos de Norteamérica y adaptándolos a las condiciones de nuestro país.

Las disposiciones que sobre instalaciones eléctricas se han dictado en los Estados Unidos, se encuentran contenidas principalmente en el "National Electrical Code" (NEC), por lo que es muy recomendable recurrir al mismo con -- objeto de ampliar nuestro criterio respecto al Reglamento. En especial la edi-

ción de Arthur L. Abbot y Frank Sietka, se recomienda por los comentarios y fotografías o dibujos aclarando cada artículo.

Debido a la importancia que tiene en una instalación eléctrica industrial la correcta aplicación del Reglamento, tanto porque es requisito de ley el hacerlo, como por contener las normas de seguridad indispensables, se listan a -- continuación aquellas de uso más frecuente en una instalación de este tipo. Se- cita primero el número del artículo y luego la fracción.

<u>Alimentadores</u>	
Calibre de los conductores	6-1
Caída de voltaje	6-2
Cálculo de la carga	6-3
<u>Conexión a tierra</u>	
Circuitos	9-2
Sistemas de corriente alterna	9-5
Características -	9-20
Electrodos	9-28 a 9-33
<u>Conductores</u>	11-1
Corriente permitida	11-4 (tablas 2 y 3)
<u>Canalizaciones en tubo conduit metálico</u>	
Diámetro mínimo	17-4
Número de conductores	17-5
Ductos con barras alimentadoras	21-1 a 21-6
<u>Cajas y accesorios para canalizaciones</u>	22
<u>Interruptores</u>	24

Tableros de Distribución	25
Motores	28-1
Calibre de conductores	28-9
Motor individual	28-10
Varios motores	28-12
Protección contra sobrecorriente	28-14 a 28-33
Arrancadores	28-38 a 28-44
Medio de desconexión	28-47 a 28-57
Conexión a tierra	28-59 a 28-61
Grúas y montacargas	34-1 a 34-15
Soldadoras	36-1 a 36-10
Plantas generadoras y subestaciones	
Condiciones del local	65-2, 65-3
Iluminación	65-4
Pisos, barandales y salidas	65-7 a 65-9
Equipo conteniendo aceite	65-12, 65-13
Transformadores	69-1 a 69-3
Interruptores en aceite	74-2
Pararrayos	76-1 a 76-4

Es necesario que los planos de la instalación sean presentados en la Dirección General de Electricidad para su aprobación y mediante ésta poder contratar los servicios, ya sea en baja o alta tensión. Los planos deben reunir determinados requisitos para que puedan ser contratados, el desconocimiento de éstos da lugar a pérdidas de tiempo y trabajo inútil por lo que se dan a continuación -

los requisitos, tanto para instalaciones de alumbrado y fuerza en una industria, como los de alta tensión.

REQUISITOS PARA LA PRESENTACION DE LOS PLANOS DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS DE FUERZA Y ALUMBRADO TIPO INDUSTRIAL.

1.- Se deberán entregar 2 copias heligráficas de cada plano, éstas deberán estar legibles, tener buena presentación, los trazos deberán hacerse con implementos adecuados para dibujo; la letra deberá ser ejecutada con plantilla, se deberán indicar los símbolos eléctricos empleados; no deberán mostrar instalaciones sanitarias, de agua potable ni otro tipo de instalaciones, ni detalle de Construcción Civil.

2.- Las copias deberán tener como mínimo las siguientes dimensiones:

42 x 56 cm.

63 x 84 cm.

84 x 112 cm.

Las escalas empleadas serán de 1:50 y 1:100 pero si la magnitud de la obra requiere para su representación alguna otra escala, se aceptará siempre y cuando se justifique el uso de la misma, debiéndose anotar la escala empleada. Se deberá dejar un margen de 5 cm. en el lado izquiero y de los 3 lados restantes del plano, deberá tener un margen no mayor de 2 cm. dejando un espacio libre de 10 x 20 cm. para la colocación del sello y firmas de aprobación.

3.- Las copias contendrán el nombre completo del propietario o razón social y la ubicación correcta de la obra (croquis de localización conteniendo: Orientación, prolongación, carretera, camino, etc., así como el número oficial

del predio, nombre de la colonia, fraccionamiento, etc.; y zona postal donde se encuentre la obra).

4.- Se mostrarán las plantas de que consta la construcción; en caso de edificios que tengan más de 2 pisos, se deberán indicar las conducciones verticales de los alimentadores.

5.- En la canalización se deberán indicar: Diámetro y material de tuberías, dimensiones y material de otros ductos; calibre y número de conductores utilizados; usando el sistema métrico decimal de medidas.

6.- Emplear nomenclaturas para la designación de: Tableros, alimentadores, circuitos, dispositivos de protección y control. Conservando la misma designación para las demás representaciones.

7.- Hacer un diagrama unifilar donde se muestren: acometida, medidor, interruptores, arrancadores, motores, contactos, lámparas, salidas especiales, etc. y demás equipo que se tenga en fuerza y alumbrado.

8.- Todos los planos deberán traer un cuadro de distribución de cargas para fuerza y alumbrado, indicando sus características eléctricas; debiéndose considerar 5 amperes como mínimo para los contactos instalados en fuerza, se deberá especificar cuando así lo requieran las necesidades, contactos de mayor capacidad.

9.- Todo motor y circuito derivado deberá estar provisto de la protección necesaria contra corto-circuito y sobre corriente; asimismo cada motor deberá tener su arrancador a plena carga o a tensión reducida de acuerdo con el Art. 28 del Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.

10.- Deberán traer anotadas el número de cajas de conexión, considerando co-

mo caja de conexión, la unión de 2 o más conductores que vayan a dar un servicio determinado.

11. - Indicar en tanto por ciento el desbalanceamiento entre fases no debiendo -- exceder de un cinco por ciento.

12. - Los equipos y materiales metálicos no destinados a conducir energía eléctrica, deberán depender de un sistema general, adecuado de tierras.

13. - Es optativo indicar la configuración de la maquinaria y la presentación de una memoria técnico-descriptiva.

14. - Indicar la marca de fábrica, tipos y características completas de los aparatos, materiales y dispositivos eléctricos empleados; asimismo indicar - el número de autorización SIC-DGE dado en esta Dependencia de acuerdo -- con el Art. 51 de la Ley de la Industria Eléctrica.

15. - Nombre, firma y número de registro de esta Dependencia del Responsable de la instalación eléctrica.

NOTA: Para mayor información consúltese el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.

REQUISITOS NECESARIOS PARA LA PRESENTACION DE PLANOS DE INSTALACIONES EN ALTA TENSION (SUBESTACIONES).

1o. - Se presentará original, copia en tela y dos heliografías de cada plano debiendo llenar los siguientes requisitos: Buena presentación, los trazos rectos hechos a regla, la letra debe ser ejecutada ya sea con plantilla o letra - de molde, los símbolos usados deberán ser los que pide esta Secretaría.

2o. - Los planos deberán tener las siguientes dimensiones:

70 x 110 cm.

55 x 70 cm.

35 x 55 cm.

28 x 40 cm.

21.5x 28 cm.

Debiéndose dejar un margen de 5 cm. en el lado izquierdo de cada plano de las tres primeras medidas y no menor de 2 cm. en los de las dos últimas. Además un espacio libre no menor de 10 x 20 cm. para poner las notas de - aprobación. Deberán mostrar: Vistas de planta, elevación, perfiles, cimentaciones para el equipo y cortes que sean necesarios, con las acotaciones -- respectivas, usando el Sistema Nacional de Unidades de Medida y escalas - de 1:20 hasta 1:100.

3o. - Los planos contendrán el nombre completo del propietario, la ubicación -- correcta de la obra (Croquis de Localización), indicando el nombre de la calle, avenida, calzada, cerrada, privada, callejón, prologanción, carretera, camino, etc., así como número Oficial del predio, nombre de la colonia, -- fraccionamiento, barrio, etc., y la Delegación dentro de cuya jurisdicción - se encuentra la obra. (Ver plano tipo).

4o. - Nombre, dirección, firma y los números de registro de esta Dependencia y el de su Cédula Profesional del perito responsable del proyecto y ejecución de la instalación, debiendo ser Ingeniero Electricista o Mecánico Electricista de acuerdo con el Artículo 210 del Reglamento de la Ley de la Industria - Eléctrica.

5o. - Se indicará la marca de fábrica, tipo y características de los equipos, --

dispositivos y materiales usados en la instalación; con el número de autorización otorgada por parte de esta Dependencia, incluyendo lo siguiente:

a). - Ventilación del local (En subestaciones, tipo interior).

b). - Alumbrado, su capacidad y alumbrado de emergencia.

c). - Tarima aislante reglamentaria.

d). - Pértiga.

e). - Extinguidor contra incendio (adecuado para riesgos eléctricos).

f). - Drenaje para el aceite del transformador.

g). - Croquis de la subestación con respecto a las demás construcciones y el nivel del piso.

h). - Características del sistema de tierras, (conductor y electrodo) indicando conexión a este sistema de estructuras y equipo.

i). - Especificaciones del material estructural.

j). - Puertas y su sentido de apertura (deberá ser hacia afuera).

k). - Capacidad de los listones fusible de los desconectadores.

l). - En subestaciones (tipo intemperie, debe especificarse claramente las características de la defensa metálica que circunde a la subestación - e indicar su conexión al sistema de tierras.

6o. - Diagrama unifilar, abarcando desde la entrada de la Compañía suministradora hasta el (ó los) tableros de baja tensión, enumerando progresivamente equipo y materiales en correspondencia a lo mostrado en vistas físicas y a lo mencionado en lista descriptiva. En caso que se tenga instalada planta - generadora de emergencia, deberá indicarse en este diagrama, mostrando claramente el dispositivo de transferencia. Además, deberá existir permi-

so de esta Secretaría para generación propia con fines de emergencia.

7o. - Cuando se estime pertinente, los planos podrán ser complementados mediante una memoria técnico descriptiva, (Original y copia con firma del -- perito responsable).

NOTAS: Para mayor información, consúltese el Reglamento de Obras e Ins-- talaciones Eléctricas.

Los planos de subestaciones deberán ser complementados con los de baja tensión correspondientes a los sistemas de alumbrado, fuerza y calefacción. Ver requisitos necesarios para la presentación de los - mismos.

CONCLUSIONES

Se ha visto en los capítulos anteriores, tratando de hacerlo en la forma más completa y clara, desde el análisis de las cargas y forma de considerarlas, forma de elaborar el proyecto, forma de ejecutar las instalaciones de acuerdo con el Reglamento y los principios generalmente aceptados, hasta la base de la teoría para elaborar un presupuesto. Todo lo anterior puede dar un panorama --- aproximado de lo que comprende una instalación eléctrica industrial, pero el -- tema es demasiado extenso y tratar de dominarlo escapa de las pretensiones de- esta tesis, por lo que sólo se han mencionado los problemas generales en cada- aspecto; para un estudio más a fondo será necesario recurrir a la literatura que sobre cada tema existe, así como a la información particular de cada fabricante.

Por otro lado, estamos atravesando por una época de constante superación, tanto en los materiales y equipo, como en las técnicas, que lo que es bueno hoy resulta anticuado al poco tiempo. Sobre este particular todo el que se dedique a esta especialidad, sea técnico, ingeniero recién egresado o antiguo, deberá es-- tar recurriendo constantemente a la información técnica, ya sea a través de libros o revistas o catálogos de los fabricantes, para poder conservarse "al día" y no pensar en ningún momento que lo que se ha aprendido en la Escuela resultará suficiente para enfrentarlo a los problemas que constantemente se le pre-- sentarán, tanto en el aspecto técnico, como en el de organización y ejecución de los trabajos.

Debemos pensar por otro lado en la competencia tan grande a la que se enfrentan los profesionistas, tanto local como internacional, ésto debe ser un in-

centivo que nos haga superarnos día a día, estudiando constantemente y recu-- rriendo a profesionistas de mayor experiencia para resolver los problemas que no podamos por nosotros mismos, lo más importante es no dejar nada sin re-- solver o resuelto a medias; la solución que a primera vista nos pareció correc ta puede contener grandes errores o haber otra solución más sencilla y que no la encontraremos al primer intento, sino después de revisar cuidadosamente - cada punto y pensar que siempre habrá una mejor forma de hacer las cosas.

Para terminar, sólo me permitiré repetir la frase del famoso sabio Tomás Alva Edison, "El genio es diez por ciento de inspiración y noventa por ciento - de perspiración".

BIBLIOGRAFIA

1) Industrial Power Systems Handbook — Donald Beeman.

2) Standard Handbook for Electrical Engineers — A. E. Knowlton

3) Electrical Engineering, Vol. II — Chester L. Dawes

4) Plantas Eléctricas — Carlos Luca M.

5) National Electrical Code Handbook — Abbott and Stetka

6) Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas

7) Manual Westinghouse de Alumbrado.

8) Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica — General Electric, S.A. de C.V.

9) Aplicación del Equipo Eléctrico a la Industria — Ing. René Fernández Niño, Industria Eléctrica de México, S.A.

10) Electric Power Distribution for Industrial Plants, Tercera Edición. — I.E.E.E.