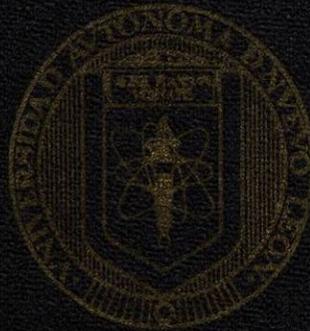


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE  
SUBESTACIONES ELECTRICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

*José Javier Martínez Hernández*

CIUDAD UNIVERSITARIA      DICIEMBRE DE 1997

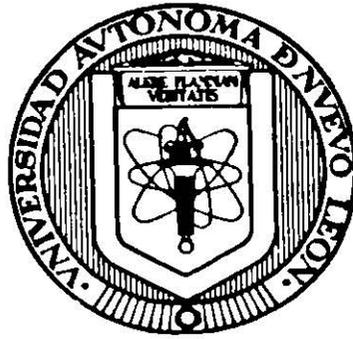
T  
TK175  
M377  
1997  
c.1



1080096973

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**



**DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE  
SUBESTACIONES ELECTRICAS**

**T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

PRESENTA:

*José Javier Martínez Hernández*

CIUDAD UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 1997

T  
TK1751  
M377  
1997



**DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA  
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

# **DEDICATORIA**

---

---

## **A MIS PADRES:**

A los que les debo tanto; por el apoyo y comprensión que me han dado para poder alcanzar cada una de las metas en mi vida. Gracias por esta herencia que me han dado, mi educación.

## **A MIS HERMANOS:**

Por toda la apoyo y comprensión que me brindaron durante mi carrera.

## **A MIS MAESTROS:**

Que con su esfuerzo supieron guiarme por el camino del buen desempeño y me inculcaron la disciplina del estudio.

## **A MI ASESOR:**

Que gracias a sus consejos y paciencia pude realizar este trabajo.

# ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	
Definición y clasificación de las subestaciones .....	5
Relación entre subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y centrales generadoras .....	5
Clasificación de las subestaciones eléctricas .....	6
Elementos constitutivos de una subestación .....	7
Transformador .....	8
Clasificación de los transformadores .....	8
Mantenimiento .....	8
Interruptores .....	9
Interruptor en aceite .....	10
Interruptor numérico .....	10
Interruptor para alta presión en aire .....	11
Pruebas a interruptores .....	12
Cuchillas fusibles .....	13
Capacidad de cuchillas .....	14
Especificaciones .....	14
Apartarrayos .....	15
Transformador para instrumentos .....	15
Transformador de corriente .....	16
Transformador de potencia .....	16
Los dispositivos de protección .....	16
Reveladores .....	18

Listón fusible	.....19
Listones rápidos y lentos	.....20
Factor de selección para cuchillas y listones	.....21
Aplicación de los listones fusibles	.....22
Variables de operación	.....22
Tablero de distribución integral	.....22
Descripción de las aplicaciones NEMA para gabinetes	.....23
Conceptos básicos	.....24
Componentes de una subestación unitaria	.....24
Capacidad de una subestación eléctrica	.....24
Corrientes de una subestación eléctrica	.....25
Sistema de tierras para una subestación	.....25
Área de conductor de la red principal	.....25
Verificación del calibre del conductor por caída de tensión	.....26
Enfriamiento de un transformador	.....27
Mantenimiento de una subestación	.....28
Criterios para el cálculo de las protecciones	.....28
Factor de potencia utilizado en las principales cargas de un circuito	.....29
Ejemplo de cálculo de los componentes de una subestación	.....29
Resumen de cálculos	.....31
Bibliografía	.....49
ANEXOS	

## INTRODUCCIÓN

En el empleo de la energía eléctrica, ya sea para fines industriales, comerciales y de uso residencial, interviene una gran cantidad de máquinas y equipo eléctrico.

Un conjunto de equipo eléctrico utilizado para un fin determinado se le conoce como subestación eléctrica.

Como se ha visto con anterioridad, una subestación eléctrica no es más una de las partes que intervienen en el proceso de generación consumo de energía eléctrica, por lo cual se da la siguiente definición:

*Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica (voltaje, corriente, frecuencia, etc.). Tipo C.A.A.C.C., o bien conservarle dentro de ciertas características.*

En lo que se refiere a lo comercial e industrial, los usuarios deben de instalar su propia subestación reductora para consumirla y utilizarla de acuerdo a sus necesidades.

Las subestaciones eléctricas implican una fuerte inversión para el usuario, la cual será compensada con el ahorro tendrá en sus tarifas, ya que una medición en alta tensión tiene menor costo que la que se obtiene en baja tensión.

Por eso es muy importante el diseño de las subestaciones eléctricas ya que son los costos elevados para el usuario, y se deben de realizar de acuerdo a la necesidad de su consumo.

Y también de conocer los dispositivos que forman una subestación eléctrica así como su operación y protecciones que presentan para evitar pérdidas.

## **DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES**

Como se ha visto, una subestación eléctrica no es más que una de las partes que intervienen en el proceso de generación - Consumo de energía eléctrica, por lo cual podemos dar la siguiente definición:

### **Definición:**

*Una subestación Eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica (voltaje, corriente, frecuencia, etc.); tipo corriente alterna a corriente continua, o bien conservarle dentro de ciertas características.*

## **RELACIÓN ENTRE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS, LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y CENTRALES GENERADORAS**

Por razones técnicas (aislamiento, enfriamiento) los voltajes de las centrales generadoras son relativamente bajos en relación con los voltajes de transmisión, por lo que si la energía eléctrica se va a transportar a grandes distancias estos voltajes de generación resultarían antieconómicos ya que se tendrían grandes caídas de voltaje.

De aquí que se presenta la necesidad de transmitir la energía eléctrica a voltajes más elevados que resulten más económicos utilizando para ello una subestación elevadora.

# CLASIFICACIÓN DE LA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

## a) Por su operación:

- 1.- De corriente alterna
- 2.- De corriente continua

## b) Por su construcción:

- 1.- Tipo interperie
- 2.- Tipo interior
- 3.- Tipo blindado

## c) Por su servicio:

- Elevadoras
- Receptoras
- Primarias:* De enlace o distribución
- De switcheo o de maniobra
- Convertidoras o Rectificadoras
  
- Receptoras
- Distribuidoras
- Secundarias:* De enlace
- Convertidoras o Rectificadoras

## **ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA SUBESTACIÓN**

Los elementos que constituyen una subestación se pueden clasificar en *elementos principales y elementos secundarios*.

### **ELEMENTOS PRINCIPALES**

1. Transformador
2. Interruptor de potencia
3. Restaurador
4. Cuchilla fusible
5. Cuchilla desconectadora
6. Apartarrayos
7. Tablero de control
8. Condensadores
9. Transformadores de instrumentos

### **ELEMENTOS SECUNDARIOS**

1. Cable de potencia
2. Cable de control
3. Equipo contra incendio
4. Equipo de filtrado de aceite
5. Sistema de tierras
6. Carrier (Intercomunicación)

## **TRANSFORMADOR**

*Un transformador es un dispositivo que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro conservando constante la frecuencia.*

Lo hace bajo el principio de inducción electromagnética. Tiene circuitos eléctricos que están eslabonados magnéticamente y aislados eléctricamente.

### **CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES**

Los transformadores se pueden clasificar por:

- a) La forma del núcleo
- b) Por el número de fases
- c) Por el número de devanados
- d) Por el medio refrigerante
- e) Por el tipo de enfriamiento
- f) Por la regulación
- g) Por la operación

## **MANTENIMIENTO**

*Es el cuidado que se debe tener en cualquier tipo de máquina durante su operación, para prolongar su vida y obtener un funcionamiento correcto.*

En el caso particular de los transformadores se requiere poco mantenimiento en virtud de ser máquinas estáticas. Sin embargo conviene que periódicamente se haga una revisión de alguna de sus partes, como son:

- 1] Inspección ocular de su estado externo en general, para observar fugas de aceites, etc.
- 2] Revisar que las boquillas no estén flameadas por sobretensiones de origen externo o atmosférico.
- 3] Cerciorarse de que la rigidez dieléctrica del aceite sea la correcta, de acuerdo con las normas.
- 4] Observar que los aparatos indicadores funcionen correctamente.
- 5] Tener cuidado de que los aparatos de protección y control operen en forma correcta.

## **INTERRUPTORES**

*Un interruptor es un dispositivo cuya función es interrumpir y restablecer la continuidad de un circuito eléctrico.*

Si la operación se efectúa sin carga (corriente), el interruptor recibe el nombre de *desconectador o cuchilla desconectadora*.

Si en cambio la operación de apertura o cierre la efectúa con carga (corriente nominal) o con corriente de corto circuito (en caso de alguna

perturbación) el interruptor recibe el nombre de *disyuntor o interruptor de potencia*.

Los interruptores es caso de apertura deben asegurar el aislamiento eléctrico del sistema.

Los interruptores de potencia se constituyen en los siguientes tipos:

- ▶ Interruptor de aceite
- ▶ Interruptor neumático
- ▶ Interruptor en alta presión de aire

### **Interruptor en aceite**

Están constituidos por contactos sumergidos en aceite aislante contenido dentro de un tanque neumático. Se utilizan para interrumpir circuitos de alto voltaje.

### **Interruptor neumático**

Se utiliza aire comprimido para su funcionamiento, se fabrica en monofásicos y trifásicos para uso interior y exterior.

Ventajas de los interruptores neumáticos sobre los interruptores de aceite:

- 1] Mayor seguridad ya que se evitan explosiones o incendios.

- 2] Interrumpe la corriente en menos ciclos.
- 3] Disminuye la posibilidad de reencevado de acero.
- 4] Es mas barato.

## **INTERRUPTOR PARA ALTA PRESIÓN EN AIRE**

*Se utilizan para establecer y cesar suministros de energía eléctrica en circuitos de línea de carga, son para ruptura al aire y especiales para altas tensiones.*

Para tensiones intermedias que están desde 2.4 hasta 13.8 kv., los interruptores de aire alargan el arco eléctrico mediante la aplicación de un campo magnético facilitando su pronto enfriamiento y rápida extinción.

En las subestaciones eléctricas estos interruptores se montan en entarimados de acero y suelen accionarse por medio de un eje largo que termina en una manivela o en un motor colocados a una altura apropiada de operación.

En la selección de los interruptores de potencia para su utilización en subestaciones eléctricas industriales deben conocerse las siguientes características:

- a] La corriente nominal o carga máxima prevista.
- b] La tensión o voltaje nominal.

- c] La capacidad interruptiva.
- d] La relación de los transformadores de corriente.
- e] El nivel básico del aislamiento.
- f] El medio de extinción del arco.
- g] El tipo de conductor para conectar el sistema.
- h] Equipo especial de accesorios.

## **PRUEBAS A INTERRUPTORES**

Las pruebas que se efectúan a los interruptores o al sistema antes de ponerlo en servicio son las siguientes:

- 1] **Prueba de presentación.** Sirve para determinar el valor de la corriente de apertura o de la corriente de cierre en algunos casos (corriente de falla).
- 2] **Prueba de sobrecarga.** Sirve para comprobar si el interruptor soporta la corriente de sobrecarga fijada.
- 3] **Prueba de temperatura.** Sirve para observar el comportamiento del interruptor con temperaturas elevadas o con corrientes mayores de la nominal.
- 4] **Prueba de aislamiento.** Sirve para verificar el comportamiento del interruptor a la tensión nominal y comprobar la calidad de los aislantes empleados.

- 5] **Prueba mecánica.** Nos permite observar si el interruptor es lo suficientemente fuerte de acuerdo a su capacidad de diseño.
- 6] **Prueba de precisión.** Nos permite comprobar la resistencia del tanque a las presiones internas originadas en una falla.
- 7] **Prueba de funcionamiento.** Es la última prueba y nos permite comprobar el funcionamiento correcto de los dispositivos de control y mecánico, fundamentalmente la operación simultánea de los polos de desconexión.

## **CUCHILLAS FUSIBLES**

*Una cuchilla fusible es un elemento de conexión de circuitos eléctricos.*

Tiene dos funciones: como cuchilla desconectadora, para la cual se conecta y se desconecta, y como elemento de protección.

Las cuchillas fusibles se subdividen en:

1. Tipo interior.
2. Tipo intemperie.
3. Tipo hilo de apertura.
4. En aceite.
5. En arena.

La mayor parte de las cuchillas fusibles operan con el principio de expulsión, empleando un tubo de fibra deionizante para confinar el arco y un listón fusible. Al ocurrir un corto circuito la corriente de falla calienta el tubo deionizante, cuando el listón fusible se funde emitiendo gases deionizantes, estos se acumulan dentro del tubo. Las cuchillas fusibles en aceite y arena son utilizadas en instalaciones externas.

## **CAPACIDAD DE CUCHILLAS**

Las cuchillas fusibles están calificadas por nema con base a la frecuencia, capacidad de conducción del corriente constante, voltaje nominal, máximo voltaje de diseño y capacidad interruptiva.

Si son empleados como navajas y usadas como switch desconectores se especifican en relación de corto tiempo en vez de medida interruptiva.

## **ESPECIFICACIONES**

Los datos que se deben proporcionar para el pedido de cuchillas desconectoras son básicamente los siguientes:

1. Tensión nominal.
2. Corriente nominal.
3. Corriente de corto circuito simétrica.

4. Corriente de corto circuito asimétrica.
5. Tipo de montaje (horizontal o vertical).

## **APARTARRAYOS**

Las sobretensiones que se presentan en las instalaciones de un sistema pueden ser de dos tipos:

- a) Sobretensiones de tipo atmosférico.
- b) Sobretensiones por fallas en el sistema.

En el siguiente caso que ahora nos ocupa trataremos la protección contra sobretensiones de origen atmosférico.

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

Un dispositivo de protección efectivo deben tener dos características principales:

- 1) Comportarse como aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado.
- 2) Convertirse en un conductor al alcanzar la tensión a ese valor y conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

## **TRANSFORMADOR PARA INSTRUMENTOS**

Se denominan transformadores para instrumentos *los que se emplean para la alimentación de equipos de medición, control o protección*. Los transformadores para instrumentos se dividen en dos clases:

- 1) Transformador de corriente.
- 2) Transformador de potencial.

### **TRANSFORMADOR DE CORRIENTE**

Se conoce como transformador de corriente *aquel cuya función principal es cambiar el valor de la corriente de uno más o menos elevado a otro con el cual se puedan alimentar instrumentos de medición, como amperímetros, watt metros, instrumentos registradores, relevadores de sobrecorriente*.

### **TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

Se denomina transformador de potencia *a aquel cuya función principal es transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente*.

### **LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN**

Los dispositivos de protección y control deben satisfacer las normas y recomendaciones dadas para las instalaciones que son en términos generales:

- ◆ Se debe prever de circuitos separados para alumbrado general, para contactos y aplicaciones especiales.
- ◆ Las ramas de los circuitos con más de una salida no deben tener una carga que exceda al 50% de la capacidad de conducción.
- ◆ El tamaño de acuerdo con la capacidad de carga en cada circuito se debe instalar tableros de distribución con tantos circuitos como sea necesario.

Para cumplir con las disposiciones anteriores, se debe contar con los siguientes elementos.

### **Interruptores de caja lámina.**

También conocidos como interruptores de seguridad, son interruptores de navaja con puerta y palanca exterior para la operación del interruptor y con fusibles integrados.

### **Tablero de distribución**

Estos tableros también son conocidos como centros de carga, consisten en dos o más interruptores de navaja con palanca o con interruptores automáticos termomagnéticos.

### **Fusibles**

Los fusibles son elementos de protección que constan de un alambre o cinta de aleación de plomo y estaño con un bajo punto de fusión que se funde cuando se excede el límite para el cual fue diseñado interrumpiendo el circuito.

Se fabrican dos tipos de fusibles:

***Fusibles de tapón:*** Usados principalmente en casas-habitación con capacidad de 30 amps.

***Fusibles de tipo cartucho:*** Que a su vez pueden ser tipo casquillo para capacidades de 3 a 60 amps. y tipo navaja para capacidades de 75 a 600 amps.

De acuerdo con sus características eléctricas los elementos fusibles pueden ser normal o de acción retardada.

## **RELEVADORES**

Los relevadores *son dispositivos de protección que sirven para retirar el servicio cualquier elemento de un sistema de potencia cuando se presentan desperfectos.*

Están formados por contactos normalmente abiertos (N.A.) y normalmente cerrados (N.C.) que son accionados magnéticamente y constituidos para funcionar cuando se presenten variaciones de voltaje o corriente.

Los principales relevadores que se utilizan en los sistemas de potencia son:

***Relevadores de bajo voltaje:*** Se utilizan para abrir o cerrar circuitos de disparo cuando el voltaje aplicado a sus bobinas de operación es menor al predeterminado.

***Relevadores de corriente balanceada:*** Está formada por tres relevadores mecánicamente separados pero interconectados eléctricamente. Se utilizan para proteger máquinas y líneas trifásicas contra fallas debidas al desbalance de fases y operación monofásica.

***Relevadores de bajo voltaje:*** Se utilizan para proteger máquinas de corriente alterna de bajo voltaje cuando arrancan debido a la apertura de fase contraria.

## **LISTÓN FUSIBLE**

Un listón fusible *consiste en tres básicas: cabezal, elemento fusible y tensor.* Los diferentes tipos de listones son presentados y diseñados bajo especificaciones nema para utilizarse en varios tipos de cuchillas.

Los diseños más comunes son como el tipo I donde el listón fusible es una combinación de un elemento de soldadura auténtica con uno de alta corriente para rangos de unos ocho amps. El tipo II es de estaño para un rango de 5 a 20 amps. y de éste tipo de listón de plata, se emplea para rangos de 5 a 100 amps. El tipo III son aquellos listones fusibles cuya función es para el rango de 25 a 100 amps. El tipo IV formado por una bandita para listón estañado con rangos de 100 amps.

Los descritos en los tipos II, III y IV vienen previstos de un alambre de alta resistencia para proteger al listón contra mecánica accidental.

La longitud y la sección transversal del elemento fusible determina la corriente y el tiempo necesario para que se funda el elemento.

Cuando una falla ocurre, el elemento fusible es fundido por la alta corriente, simultáneamente, debido a la alta resistencia del tensor es calentado y desprendido, en ese instante se establece un arco de una parte a otra del listón. El arco es un medio conductor de partículas mezcladas las cuales son iones metálicos del elemento fundido del alambre y del gas ionizado.

## LISTONES RÁPIDOS Y LENTOS

Las normas EE-NEMA de listones fusibles se dividen en dos tipos: *listones rápidos* y *listones lentos* y se designan por "K" y "T" respectivamente.

Los listones "K" y "T" para su rango tienen los mismos límites de tiempo 300-600 segundos, pero tienen distintas curvas T. C.

El listón "T" comienza a operar más lentamente que el correspondiente listón "K" a corriente alta. La diferencia entre los dos tipos se basa en el rango de velocidad, los que se definen como la razón

entre las corrientes de fusión para 0.1 para rangos de listones que no sobrepasen los 100 amps.

## **FACTORES DE SELECCIÓN PARA CUCHILLAS Y LISTONES**

La aplicación de cuchillas fusibles depende de la corriente de carga, voltaje del sistema, tipo de sistema y probable corriente de falla, lo que determina el rango de corriente y voltaje para la selección adecuada de cuchillas que se desean instalar.

La seguridad económica y localización también influye en la selección del tipo de cuchillas que se deben instalar: abierta, cerrada, abierta con listón, etc., incluso se debe considerar la carga de tierra, los posibles cambios por operación o la necesidad o conveniencia en la forma de establecer su operación.

Los datos que se deben conocer en un sistema de distribución para la correcta solución y localización de las cuchillas fusibles son:

- ◆ Tipo de sistema.
- ◆ La relación K/R para misma corriente y falla y su punto de aplicación..
- ◆ Voltaje del sistema.
- ◆ Corriente de carga.

Estos cuatro factores determinan tres datos de las cuchillas:

- ◆ Corriente debido a la carga.
- ◆ Voltaje.
- ◆ Capacidad interruptiva.

## **APLICACIÓN DE LOS LISTONES FUSIBLES**

La aplicación de los listones fusibles requiere del conocimiento del sistema y del equipo que se desea proteger. Para efectos de coordinación lo que se desea conocer es la corriente de falla máxima al punto más distante que se requiere proteger y la corriente de falla máxima probable, corriente de carga y corriente de retroalimentación al punto de aplicación del fusible.

## **VARIABLES DE OPERACIÓN**

Al aplicar los listones fusibles se deben considerar los efectos de estas variables de operación:

1. Precargar debido a la corriente de falla.
2. Temperatura ambiente.
3. Calor de fusión.

## **TABLERO DE DISTRIBUCIÓN INTEGRAL**

Los tableros de distribución integral están contenidos en una sola unidad y sus componentes están perfectamente coordinados entre sí.

La selección de baja tensión es un tablero de distribución o un solo interruptor.

## **DESCRIPCIÓN DE LAS APLICACIONES NEMA PARA GABINETES**

### **NEMA 1 Usos generales:**

Servicio interior, condiciones atmosféricas normales construido de lámina metálica.

### **NEMA 2 A prueba de goteo:**

Servicio interior ofrece protección contra goteo de líquidos corrosivos, las entradas de conduit requieren conectores especiales tipo glándula.

### **NEMA 3 Servicio intemperie:**

Servicio exterior a prueba de lluvia, resistente a la corrosión requiere de conectores tipo glándula.

### **NEMA 4 A prueba de polvo y agua:**

Servicio exterior protección hermética contra salpicaduras de agua.

### **NEMA 5 A prueba de polvo:**

Servicio exterior protección hermética contra polvo.

### **NEMA 7 A prueba de gases explosivos:**

Servicio interior y exterior en atmósferas peligrosas por gases explosivos.

**NEMA 9 A prueba de polvos explosivos:**

Servicio interior o exterior en atmósferas peligrosas, evita la entrada de polvos explosivos.

**NEMA 12 Servicio industrial:**

Servicio interior protección contra polvo, pelusa, fibras, goteras, salpicaduras, insectos, aceites refrigerantes requieren conectores.

## **CONCEPTOS BÁSICOS**

### **COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN UNITARIA**

- ➔ Sección de llegada.
- ➔ Sección de transformación.
- ➔ Sección de baja tensión.

### **CAPACIDAD DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

La capacidad se fija tomando en cuenta la demanda actual en KVA, más 20 o 30% para un incremento al futuro, previniendo el espacio necesario para las futuras aplicaciones.

$$KV_{TRANS.} = KV_{INST. (FD)} + (20\% \text{ al } 30\%) KV_{INST.}$$

## **CORRIENTES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

Se consideran dos tipos de corrientes:

### **A) Corriente nominal:**

Nos fija los esfuerzos térmicos que debe soportar una instalación eléctrica en las condiciones más favorables, sirven para determinar las barras colectoras y las características de desconexión de corriente, de interruptores, cuchillas, etc.

### **B) Corriente corto circuito:**

Determina los esfuerzos electrodinámicos máximos que pueden soportar las barras colectoras y los tramos de conexión. Es también un parámetro importante en el diseño de la red de tierras de la instalación.

## **SISTEMA DE TIERRAS PARA UNA SUBESTACIÓN**

Para determinar en el sistema de tierras debemos conocer el área que abarca la red de tierras.

## **ÁREA DE CONDUCTOR DE LA RED PRINCIPAL**

Por recomendación del reglamento de instalaciones eléctricas, el calibre mínimo a usar será 4/0 AWG, AIEEE recomienda el tamaño mínimo de 1/0 a 2/0 para uniones soldables y mecánicas pero advierte que la mayor parte de la industria considera como mínimo el 4/0 debido a razones de índole mecánicas.

## **VERIFICACIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR POR CAÍDA DE TENSIÓN**

Se utiliza para comprobar el calibre del conductor, cuando se utiliza a cierta distancia del punto de alimentación; esto debido a que mayor distancia mayor pérdida debida a la resistencia del conductor.

Para calcularlo se utilizan las siguientes fórmulas:

$$V = Fc \times IP / \text{CABLE} \times \text{Long (mts.)}$$

1000

$$\% V = \frac{v \times 100}{v_0}$$

***Donde:***

v= Caída de tensión.

%v= % de caída de tensión.

F.c.= Factor de caída de tensión.

$v_o =$  Voltaje nominal.

El factor utilizado en el %v puede variar debido al voltaje que se utiliza y queda de la siguiente manera:

3 Fases, 4 Hilos	_____	v3
2 Fases, 3 Hilos	_____	2
Monofásico	_____	1

Los valores del %v no deben exceder el 3% requerido por norma, en caso de que se obtenga un valor mayor se deberá tomar un calibre más grueso, que sea inmediato superior al calibre utilizado, y volver a realizar el cálculo hasta que se cumpla con esta disposición, el calibre que cumpla es el que utilizará en la instalación.

## **MEDICIÓN DE UNA SUBESTACIÓN**

La medición dependerá de la capacidad del transformador, a partir de 300 KVA hacia arriba la medición será en el lado de alta y de 300KVA hacia abajo la medición se hará en el lado de baja.

## **ENFRIAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR**

El enfriamiento de un transformador puede ser por aire forzado o por aceite, mientras más frío se encuentre el transformador nos entregará mayor potencia.



	10 a 25 HP	165% IN
	30 en adelante	140% IN
b) Para máquinas de soldar:		250% a 300% IN
c) Para aire acondicionado:		150% IN
d) Para alumbrado:		125% IN
e) Para capacitores:		150% IN

### **FACTOR DE POTENCIA UTILIZADO EN LAS PRINCIPALES CARGAS DE UN CIRCUITO**

Lámparas fluorescente:	0.92 al 0.96
Lámparas incandescentes, resistencias:	1.00
Motores eléctricos:	0.85
Máquina de soldar:	0.60
Aires acondicionados:	0.85

### **EJEMPLO DE CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN**

Determinar la potencia del transformador, los dispositivos de protección para una subestación ubicada en una empresa dedicada a la fabricación de estructuras metálicas, la cual tiene las siguientes cargas:

1. 5 Motores de 3/4 HP, trifásico de 220v.
2. 2 Motores de 10 HP, trifásico de 220v
3. 4 Máquinas de soldar de 5 KVA, trifásico de 220v.
4. 1 Tablero de alumbrado de 10 KW, trifásico de 220v.
5. 1 Tablero de alumbrado de 35 KW, trifásico de 220v.
6. 2 Aires acondicionados de 3 TON. trifásico de 220v.

Los motores se consideran con una eficiencia del 90% se utiliza conductor con máxima temperatura de 75°C; se estima una temperatura ambiente de 35°C. Uno de los motores de 10 HP se encuentra a 50 m del lugar de la alimentación, verificar el calibre del conductor por caída de tensión.

## **EJEMPLO DE CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN**

Se calculará la subestación eléctrica para una sala de compresores la cual consta de doce motores trifásicos de diferente capacidad de los cuales se controlan de un centro de control de motores. También se cuenta con un tablero para el alumbrado y contactos.

A continuación se enlista una tabla de los diferentes equipos de que la sección con sus capacidades de voltaje de alimentación, así como la distancia a la que se encuentra de sus centros de alimentación diagrama

unifilar al final así como también tablas usadas para los cálculos de esta sección.

MOTOR	CAPACIDAD	VOLTAJE
M1	3/4 HP	220
M2	3/4 HP	220
M3	3/4 HP	220
M4	3/4 HP	220
M5	3/4 HP	220
M6	10 HP	220
M7	10 HP	220
S1	5 KVA	220
S2	5 KVA	220
S3	5 KVA	220
S4	5 KVA	220
AC1	3 TON	220
AC2	3 TON	220
T1	10 KW	220
T2	35 KW	220

## **CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE LOS MOTORES**

### **CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL A PLENA CARGA DEL MOTOR**

Con los datos de la potencia del motor expresado en HP y el voltaje entre líneas del motor trifásico, si dichos motores no traen datos de placa

consideraremos una eficiencia del 90% y un factor de potencia de .9 de atrasado (-) y con estos datos.

Se pueden obtener la corriente nominal a plena carga del motor mediante la formula:

$$I_{npcm} = 0.746 (\text{hp}) - \sqrt{3kV F_p E_f}$$

$$F_n = \frac{0.746 H}{\sqrt{3 V F_p E_f}}$$

### **CÁLCULO DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN PARA CORTO CIRCUITO**

Una vez obtenida la corriente a plena carga del motor seleccionaremos el interruptor termomagnético para lo cual deberemos clasificar los motores en tres grupos dependiendo de su potencia donde su corriente nominal a plena carga se multiplicará para un factor de seguridad para seleccionar el interruptor. Los tres grupo son los siguientes:

- ➡ Motores pequeños 1-7 HP 200%  $I_n$
- ➡ Motores medianos 10-25 HP 165%  $I_n$
- ➡ Motores grandes 30 o más HP 140%  $I_n$

Una vez multiplicada la corriente nominal por el factor de seguridad seleccionaremos la capacidad del interruptor termomagnético.

## CÁLCULO DEL CONDUCTOR EN BAJA TENSIÓN

Para escoger un calibre mínimo del conductor utilizaremos la corriente a plena carga del motor multiplicándola por 1.25 y después la afectaremos dividiéndola entre los factores de agrupamiento "t" de la temperatura. En nuestro caso utilizaremos cable tipo THW 9" y el rango de temperatura será de 31 a 40 grados centígrados.

Es importante saber si el cable está al aire libre, en tubo conduit o en charola.

$$I_{p/cable} = 125\% I_n \quad I_{p/cable} = \frac{I_{p/cable}}{\text{correg. (FT)(FA)}}$$

$$I_{conductor} = 1.25 I_n \quad I_{conductor} / (FA * FT)$$

Con este valor de corriente de conductor seleccionaremos nuestro calibre de cable.

**Solución:**

**a) 5 motores de 3/HP, Trifásico de 220v.**

## CÁLCULO DEL CONDUCTOR A UTILIZAR

$$I_N = \frac{0.746 H}{\sqrt{3} V F_p E_f}$$

$$I_N = \frac{0.746(3/4)}{\sqrt{3}(0.22)(0.85)(0.90)}$$

IN = 1.92 amps.

$$IP/CABLE = 125\% IN \quad IP/CABLE = 1.25(1.92 \text{ AMPS}) \quad IP/CABLE = 2.40 \text{ AMPS.}$$

$$IP/CABLE = \frac{IP/CABLE}{(FT)(FA)} \quad IP/CABLE = \frac{(2.40 \text{ AMPS})}{(0.88)(1.00)}$$

FT = Factor de corrección por Temperatura

FA = Factor de corrección por Agrupamiento

Para detener el FT lo haremos con la Tabla #2, deteniendo este dato con la temperatura ambiente del diseño que es de 35°C y con la temperatura máxima permisible en el aislamiento, dando como resultado un FT= 0.88.

El FA lo ordenaremos de la Tabla #1, para obtener este valor solamente se requiere saber el de ≠ de conductores que en este curso son 3, nos da un: FA = 1.00

$$IP/cable = 2.73 \text{ amps.}$$

### **Corregida**

Con el valor de Ip/cable corregida y la temperatura a 73°C podemos obtener el número del calibre a utilizar con ayuda de la Tabla #3 dándonos un resultado del calibre número 12 y para el diámetro de la tubería se hará con ayuda de la Tabla #4, teniendo como datos el tipo de conductor, calibre del conductor y si el número de conductores no se

excede del que viene en la Tabla, la medida será la que se indica en la parte superior de la Tabla.

Se obtiene un conductor calibre número 12, en tubería de 1/2 de diámetro, aunque la corriente debido a que es el mínimo calibre a utilizar.

### **CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN**

$$\text{IP/PROTEC.} = 200\% I_n \quad \text{IP/PROTEC.} = 2(1.92 \text{ amps})$$

$$\text{IP/PROTEC.} = 3.84 \text{ amps.}$$

Para saber que tipo de interruptor termomagnético utilizaremos, lo haremos con la ayuda de la Tabla #5 y con el valor de la Ip/protec.

\*Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA de capacidad interruptiva normal, 100 amps, en marco, tensión máxima 600v, 250 Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 15 \text{ A}}{100} \text{ FA}$$

### **CÁLCULO ARRANCADOR**

El arrancador nos da la Tabla de acuerdo a los HP del motor. En este caso se escoge un arrancador a tensión plena no reversible tamaño NEMA 1 para motor de 3/4 HP. Tabla #6.

Para el cálculo de los elementos térmicos multiplicamos la Inominal del motor por 1.15% de esta manera sabiendo que la Inominal es 1.92 amps.

$$I_{ELEMENTO} = 115\% I_N \quad I_{ELEMENTO} = 1.15\% (1.92 \text{ amps.})$$

$$I_{ARRANCADOR} = 2.21 \text{ amps.}$$

**b) 2 motores de 10 HP, Trifásicos de 220v.**

### CÁLCULO DEL CONDUCTOR A UTILIZAR

$$I_N = \frac{0.746 \text{ HP}}{\sqrt{3} V F_p E_f} \quad I_N = \frac{0.746(10)}{\sqrt{3}(0.22)(0.85)(0.90)} \quad I_N = 25.59 \text{ amps.}$$

$$I_{P/CABLE} = 125\% I_N \quad I_{P/CABLE} = 1.25(25.59 \text{ amps.})$$

$$I_{P/CABLE} = 31.99 \text{ amps.}$$

$$I_{P/CABLE} = \frac{I_{P/CABLE}}{F_T F_A} \quad I_{P/CABLE} = (31.99 \text{ amps.})$$

$$I_{P/CABLE} = 36.35 \text{ amps.}$$

$$\text{Corregida } (F_T)(F_A) \quad \text{Corregida } (0.88)(1.00)$$

El valor del FI y FA se obtiene de la Tabla #2 y de la Tabla #1 respectivamente.

\*Se obtiene un conductor calibre número 8, en tubería 3/4 de diámetro como mínimo.

El calibre del conductor y el diámetro de la tubería se obtienen de la Tabla #3 y de la Tabla #4 respectivamente.

### **CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN**

$$IP/PROTEC.= 165\% IN \quad IP/PROTEC.= 1.65(25.59 \text{ amps.})$$

$$IP/PROTEC.= 42.22 \text{ amps.}$$

El interruptor termomagnético lo obtendremos de la Tabla #5.

Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA capacidad interruptiva normal, 100 amps., en marco, tensión máxima 600v, 250Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 50A}{100} \text{ FA}$$

### **CÁLCULO DEL ARRANCADOR**

El arrancador de la Tabla #6

$$IELEMENTO= 115\%IN \quad IELEMENTO = 1.15\%(25.59)$$

$$IARRANCADOR= 29.43 \text{ amps.}$$

\*Verificación del calibre del conductor por caída de tensión para el motor que se encuentra a 50m del punto de alimentación.

$I_N = 1.92 \text{ amps.}$

$$IP/CABLE = 125\% I_N \quad IP/CABLE = 1.25(1.92 \text{ AMPS}) \quad IP/CABLE = 2.40 \text{ AMPS.}$$

$$IP/CABLE = \frac{IP/CABLE}{(FT)(FA)} \quad IP/CABLE = \frac{(2.40 \text{ AMPS})}{(0.88)(1.00)}$$

FT = Factor de corrección por Temperatura

FA = Factor de corrección por Agrupamiento

Para detener el FT. lo haremos con la Tabla #2, deteniendo este dato con la temperatura ambiente del diseño que es de 35°C y con la temperatura máxima permisible en el aislamiento, dando como resultado un FT= 0.88.

El FA lo ordenaremos de la Tabla #1, para obtener este valor solamente se requiere saber el de  $\neq$  de conductores que en este curso son 3, nos da un: FA = 1.00

$$IP/cable = 2.73 \text{ amps.}$$

### **Corregida**

Con el valor de  $I_p/cable$  corregida y la temperatura a 73°C podemos obtener el número del calibre a utilizar con ayuda de la Tabla #3 dándonos un resultado del calibre número 12 y para el diámetro de la tubería se hará con ayuda de la Tabla #4, teniendo como datos el tipo de conductor, calibre del conductor y si el número de conductores no se

excede del que viene en la Tabla, la medida será la que se indica en la parte superior de la Tabla.

Se obtiene un conductor calibre número 12, en tubería de 1/2 de diámetro, aunque la corriente debido a que es el mínimo calibre a utilizar.

### **CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN**

$$\text{IP/PROTEC.} = 200\% I_n \quad \text{IP/PROTEC.} = 2(1.92 \text{ amps})$$

$$\text{IP/PROTEC.} = 3.84 \text{ amps.}$$

Para saber que tipo de interruptor termomagnético utilizaremos, lo haremos con la ayuda de la Tabla #5 y con el valor de la  $I_p/\text{protec.}$

\*Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA de capacidad interruptiva normal, 100 amps, en marco, tensión máxima 600v, 250 Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 15 \text{ A}}{100} \text{ FA}$$

### **CÁLCULO ARRANCADOR**

El arrancador nos da la Tabla de acuerdo a los HP del motor. En este caso se escoge un arrancador a tensión plena no reversible tamaño NEMA 1 para motor de 3/4 HP. Tabla #6.

Para el cálculo de los elementos térmicos multiplicamos la Inominal del motor por 1.15% de esta manera sabiendo que la Inominal es 1.92 amps.

$$I_{ELEMENTO} = 115\% I_N \quad I_{ELEMENTO} = 1.15\%(1.92 \text{ amps.})$$

$$I_{ARRANCADOR} = 2.21 \text{ amps.}$$

**b) 2 motores de 10 HP, Trifásicos de 220v.**

### CÁLCULO DEL CONDUCTOR A UTILIZAR

$$I_N = \frac{0.746 \text{ HP}}{\sqrt{3} \text{ V Fp Ef}} \quad I_N = \frac{0.746(10)}{\sqrt{3}(0.22)(0.85)(0.90)} \quad I_N = 25.59 \text{ amps.}$$

$$I_{P/CABLE} = 125\% I_N \quad I_{P/CABLE} = 1.25(25.59 \text{ amps.})$$

$$I_{P/CABLE} = 31.99 \text{ amps.}$$

$$I_{P/CABLE} = \frac{I_{P/CABLE}}{F_T F_A} \quad I_{P/CABLE} = (31.99 \text{ amps.})$$

$$I_{P/CABLE} = 36.35 \text{ amps.}$$

$$\text{Corregida } (F_T)(F_A) \quad \text{Corregida } (0.88)(1.00)$$

El valor del FI y FA se obtiene de la Tabla #2 y de la Tabla #1 respectivamente.

\*Se obtiene un conductor calibre número 8, en tubería 3/4 de diámetro como mínimo.

El calibre del conductor y el diámetro de la tubería se obtienen de la Tabla #3 y de la Tabla #4 respectivamente.

### **CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN**

$$IP/PROTEC.= 165\% IN \quad IP/PROTEC.= 1.65(25.59 \text{ amps.})$$

$$IP/PROTEC.= 42.22 \text{ amps.}$$

El interruptor termomagnético lo obtendremos de la Tabla #5.

Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA capacidad interruptiva normal, 100 amps., en marco, tensión máxima 600v, 250Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 50A}{100} \text{ FA}$$

### **CÁLCULO DEL ARRANCADOR**

El arrancador de la Tabla #6

$$IELEMENTO= 115\%IN \quad IELEMENTO = 1.15\%(25.59)$$

$$IARRANCADOR= 29.43 \text{ amps.}$$

\*Verificación del calibre del conductor por caída de tensión para el motor que se encuentra a 50m del punto de alimentación.

Nota: El %V no debe ser mayor del 3%.

$$V = \frac{F_c \times I_p / \text{CABLE} \times \text{Long}}{1000} \qquad V = \frac{(2.55)(31.99)(50\text{mts})}{1000}$$

$$V = 4.08 \text{ volts.}$$

El factor de caída de tensión (Fc) se obtiene de la Tabla #7, con los datos del calibre del conductor y el Fp=100%, siendo Fc=2.55 según la Tabla #7 y datos conocidos.

$$\%V = \frac{V \sqrt{3} \times 100}{V_o} \qquad \%V = \frac{(4.08)\sqrt{3} \times 100}{(220)} \qquad \%V = 3.53 \%$$

**NO CUMPLE**

Por lo tanto se calcula para un calibre más grueso: (calibre #6)

$$V = \frac{F_c \times I_p / \text{cable} \times \text{Long}(\text{mts.})}{1000} \qquad V = \frac{(1.60)(31.99)(50\text{m})}{1000}$$

$$V = 2.56 \text{ Volt.}$$

Siendo Fc=1.60 según la Tabla #7.

Por lo tanto se calcula para un calibre más grueso: (Calibre #6).

$$V = \frac{F_c \times I_p / \text{CABLE} \times \text{Long}(\text{mts})}{1000} \qquad V = \frac{(1.60)(31.99)(50\text{m})}{1000}$$

$$V = 2.56 \text{ Volt.}$$

$$\%V = \frac{V_{v3}}{V_0} \times 100$$

$$\%V = \frac{(2.56)V_3}{(220)} \times 100$$

$$\%V = 2.51\%$$

### SI SE CUMPLE

*Dando como resultado que para este motor se utilizará conductor calibre #6.*

**c) 4 máquinas de soldar de 5KVA, Trifásico de 220v.**

### CÁLCULO DEL CONDUCTOR A UTILIZAR

$$I_N = \frac{KVA}{\sqrt{3} V}$$

$$I_N = \frac{5KVA}{\sqrt{3}(0.22)}$$

$$I_N = 13.12 \text{ amps.}$$

$$IP/CABLE = 125\%$$

$$IP/CABLE = 1.25(13.12 \text{ amps.})$$

$$IP/CABLE = 16.40 \text{ amps.}$$

$$IP/CABLE = IP/CABLE$$

$$IP/CABLE = 816.40 \text{ amps.}$$

$$IP/CABLE = 18.64 \text{ amps.}$$

$$\text{Corregida (FT) (FA)}$$

$$(0.88)(1.00)$$

Corregida

El valor del FI y FA se obtienen de la Tabla #2 y de la Tabla #1 respectivamente.

El calibre del conductor y el diámetro de la tubería se obtienen de la Tabla #3 y de la Tabla #4 respectivamente.

\*Se obtiene un conductor calibre #12, en tubería de 1/2" de diámetro, como mínimo.

### CÁLCULO DE PROTECCIÓN

$$IP/PROTEC.=300\%IN$$

$$IP/PROTEC.=3(13.12 \text{ amps.})$$

$$IP/PROTEC.=39.36 \text{ amps.}$$

El interruptor termomagnético lo obtendremos de la Tabla #5.

\*Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA de capacidad interruptiva normal 100 amps. en marco, tensión máxima 600v, 250Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 40A \text{ FA}}{100}$$

**d) 1 Tablero de alumbrado de 10 KW, Trifásico de 220v.**

### CÁLCULO DEL CONDUCTOR A UTILIZAR

$$IN = \frac{KW}{\sqrt{3}VF_p} \quad IN = \frac{(10 \text{ KW})}{\sqrt{3}(0.22)(0.92)} \quad IN = 28.53 \text{ amps.}$$

El factor de potencia se obtiene de la Tabla A.

$$\text{IP/CABLE} = 125\% \text{IN}$$
$$\text{IP/CABLE} = 3.66 \text{ amps.}$$

$$\text{IP/CABLE} = 1.25(28.53 \text{ amps.})$$

$$\text{IP/CABLE} = \text{IP/CALE}$$
$$\text{IP/CABLE} = 40.52 \text{ amps.}$$

$$\text{IP/CABLE} = (35.35 \text{ amps.})$$

$$\text{Corregida (FT)(FA)} \quad \text{Corregida (0.88)(1.00)} \quad \text{Corregida}$$

El valor del FI y FA se obtiene de la Tabla #2 y de la Tabla #1 respectivamente.

El calibre del conductor y el diámetro de la tubería se obtienen de la Tabla #3 y de la Tabla #4 respectivamente.

\*Se obtiene un conductor calibre #8, en tubería de 3/4" de diámetro como mínimo.

### **CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN**

$$\text{IP/PROTEC.} = 125\% \text{IN}$$

$$\text{IP/PROTEC.} = 1.25(28.53 \text{ amps.})$$

$$\text{IP/PROTEC.} = 35.66 \text{ amps.}$$

El interruptor termomagnético lo obtendremos de la Tabla #5.

\*Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA de capacidad interruptiva normal, 100 amps. en marco, tensión máxima 600v, 250Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 40A}{100} \text{ FA}$$

**e) Tablero de alumbrado de 35 KW, Trifásico de 220v.**

### **CÁLCULO DEL CONDUCTOR A UTILIZAR**

$$IN = \frac{KW}{\sqrt{3}VF_p} \quad IN = \frac{(35 \text{ KW})}{\sqrt{3}(0.22)(0.92)} \quad IN = 99.84 \text{ amps.}$$

$$IP/CABLE = 125\%IN \quad IP/CABLE = 1.25(99.84 \text{ amps.})$$

$$IP/CABLE = 124.80 \text{ amps.}$$

$$IP/CABLE = \underline{IP/CABLE} \quad IP/CABLE = (124.80 \text{ amps.})$$

$$IP/CABLE = 141.82 \text{ amps.}$$

$$\text{Corregida (FT)(FA)} \quad \text{Corregida} \quad (0.88)(1.00)$$

El valor del FI y FA se obtienen de la Tabla #2 y Tabla #1 respectivamente.

El calibre del conductor y el diámetro de la tubería se obtienen de la Tabla #3 y de la Tabla #4 respectivamente.

\*Se obtiene un conductor calibre #10, en tubería de 2" de diámetro como mínimo.

## CALCULO DE LA PROTECCIÓN

$$IP/PROTEC.=125\%IN$$

$$IP/PROTEC.=1.25(99.84 \text{ amps.})$$

$$IP/PROTEC.=124.80 \text{ amps.}$$

El interruptor termomagnético lo obtendremos de la Tabla #5.

\*Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA de capacidad interruptiva normal, 225 amps. en marco, tensión máxima 600v, 250Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 125A}{225} \text{ FA}$$

**f) 2 Aires acondicionados de 3 Ton. Trifásicos de 220v.**

## CÁLCULO DEL CONDUCTOR

1 TON = 1900 Watts.

$$IN = \frac{KW}{\sqrt{3}VF_p} \quad IN = \frac{(1.9)(3 \text{ Ton})}{\sqrt{3}(0.22)(0.85)} \quad IN = 17.60 \text{ amps.}$$

$$IP/CABLE = 125\%IN$$

$$IP/CABLE = 1.25(17.60 \text{ amps.})$$

$$IP/CABLE = 22.00 \text{ amps.}$$

$$IP/CABLE = \underline{IP/CABLE}$$

$$IP/CABLE = \underline{22.00 \text{ amps.}}$$

$$IP/CABLE = \underline{25.00 \text{ amps.}}$$

Corregida (FT)(FA)      Corregida      (0.88)(1.00)      Corregida

El valor del FI y FA se obtienen de la Tabla #2 y Tabla #1 respectivamente.

El calibre del conductor y el diámetro de la tubería se obtienen de la Tabla #3 y de la Tabla #4 respectivamente.

\*Se obtiene un conductor calibre #10, en tubería de 3/4" de diámetro como mínimo.

### **CALCULO DE LA PROTECCIÓN**

$$IP/PROTEC.=150\%IN$$

$$IP/PROTEC.=1.50(17.60 \text{ amps.})$$

$$IP/PROTEC.=24.40 \text{ amps.}$$

El interruptor termomagnético lo obtendremos de la Tabla #5.

\*Se utiliza un interruptor termomagnético tipo FA de capacidad interruptiva normal, 100 amps. en marco, tensión máxima 600v, 250Vcd.

$$\text{Tipo: } \frac{3 \times 30A}{225} \text{ FA}$$

### **CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR**

$$KVA \text{ TRANS.} = KVA \text{ INST. (FD)} + (20\% \text{ al } 30\%) KVA \text{ INST.}$$

**Donde:**

FA= Es el factor de demanda.

Y este factor lo detendremos de la Tabla #8 sabiendo que el diseño se hará para una empresa dedicada a la fabricación de estructuras metálicas.

**Motores:**

$$\xi \text{ HP} = 5(3/4 \text{ HP}) + 2(10 \text{ HP})$$

$$\xi \text{ HP} = 23.75 \text{ HP}$$

$$\Phi = \text{Cos } (Fp)$$

$$\Phi = \text{Cos } (0.85)$$

$$\Phi = 31.79^\circ$$

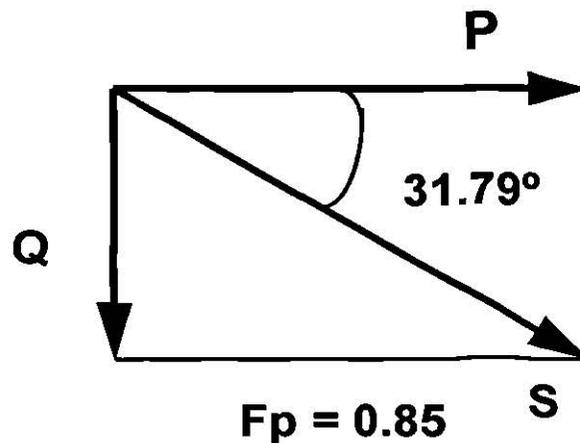
$$P = 23.75(0.746 \text{ HP})$$

$$P = 17.72 \text{ KW}$$

$$Q = P \text{ Tang } \Phi$$

$$Q = 12(\text{Tang } 31.79^\circ)$$

$$Q = 10.98 \text{ KVAR}$$



**Maquinas de Soldar**

$$P = SFp$$

$$P = 20(0.60)$$

$$P = 12 \text{ KV}$$

$$\alpha = \text{Cos } Fp$$

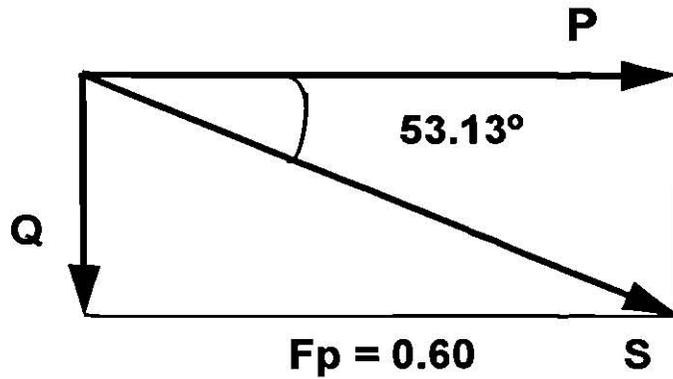
$$Q = P \text{ Tan } \alpha$$

$$Q = 12(\text{Tan } 53.13^\circ)$$

$$Q = 16 \text{ KVAR}$$

$$\alpha = \text{Cos} (0.60)$$

$$\alpha = 53.13^\circ$$



### Tableros de Alumbrado

$$P = (10+35) \text{ KW}$$

$$P = 45 \text{ KW}$$

$$Q = P \text{ Tan } \beta$$

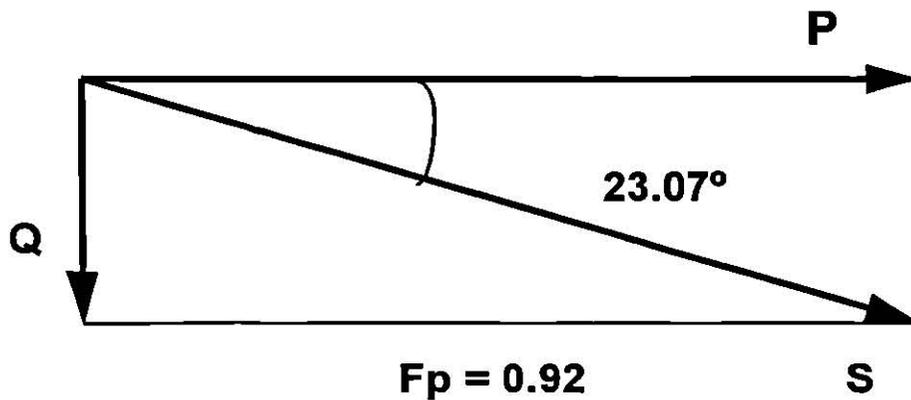
$$Q = 45(\text{Tan } 23.07)$$

$$Q = 19.17 \text{ KVAR}$$

$$\beta = \text{Cos } Fp$$

$$\beta = \text{Cos} (0.92)$$

$$\beta = 23.07^\circ$$



### Aires Acondicionados

$$P = 1.9 \text{ KV (Ton)}$$

$$P = 11.40 \text{ KW}$$

$$Q = P \text{ Tan } \gamma$$

$$Q = 11.40 (\text{Tan } 31.79^\circ)$$

$$Q = 7.0 \text{ KVAR}$$

$$\gamma = \text{Cos}(Fp)$$

**Sumatoria de Cargas:**

$$P = 17.72 + 12.00 + 45.00 + 11.40$$

$$P = 86.12 \text{ KW}$$

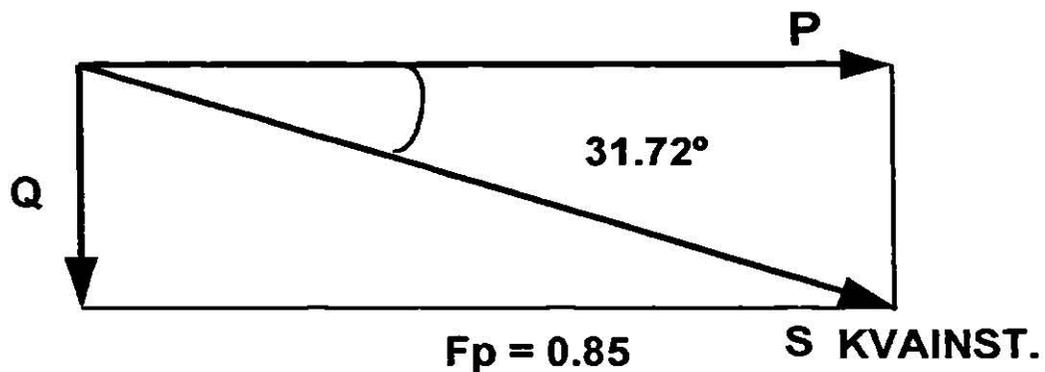
$$Q = 10.95 + 16.00 + 19.17 + 7.07$$

$$Q = 53.22 \text{ KVAR}$$

$$KVA_{INST.} = \sqrt{(P)^2 + (Q)^2}$$

$$KVA_{INST.} = \sqrt{(86.12)^2 + (53.22)^2}$$

$$KVA_{INST.} = 101.24 \text{ KVA}$$



$$KVA_{INST.} = KVA_{INST.}(FD) + (20\% \text{ AL } 30\%) KVA_{INST.}$$

$$KVA_{INST.} = (101.24)(0.50) + 30\%(101.24)$$

$$KVA_{INST.} = 80.99 \text{ KVA}$$

APOYÁNDONOS DE LA TABLA #9 Y CON EL VALOR DE LOS KVA TRANS.

OBTENEMOS UN VALOR INMEDIATO SUPERIOR QUE SEA ESTÁNDAR DEL TRANSFORMADOR= 80.99 KV/

***TRANSFORMADOR DE 112.5 KVA. TRIFÁSICO DE 220/127 V., 5 TAPS. DELTA-ESTRELLA.***

UNIDAD	CAPACIDAD	VOLTS	INOM AMP.	CABLE Y CONDUIT	INT. MAGN.	ARRANCADOR NEMA
M1	3/4 HP	220	1.92	3#12AWG-1/2"	3X15	1
M2	3/4 HP	220	1.92	3#12AWG-1/2"	3X15	1
M3	3/4 HP	220	1.92	3#12AWG-1/2"	3X15	1
M4	3/4 HP	220	1.92	3#12AWG-1/2"	3X15	1
M5	3/4 HP	220	1.92	3#12AWG-1/2"	3X15	1
M6	10 HP	220	25.59	3#08AWG3/4"	3X50	2
M7	10 HP	220	25.59	3#08AWG3/4"	3X50	2
S1	5 KVA	220	13.12	3#12AWG-1/2"	3X40	
S2	5 KVA	220	13.12	3#12AWG-1/2"	3X40	
S3	5 KVA	220	13.12	3#12AWG-1/2"	3X40	
S4	5 KVA	220	13.12	3#12AWG-1/2"	3X40	
AC1	3 TON	220	17.6	3#10AWG-3/4"	3X30	
AC2	3 TON	220	17.6	3#10AWG-3/4"	3X30	
T1	10 KW	220	28.53	3#08AWG-3/4"	3X40	
T2	35 KW	220	99.84	3#10AWG-2"	3X125	

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **NORMAS TÉCNICAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

Editorial Font, S.A.

### **ELECTRICIDAD, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES**

Autor: Shrader

Editorial Mc. Graw Hill

### **SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Autor: Syed A. Nasar

Editorial Mc. Graw Hill

### **FUNDAMENTOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE MEDIANA Y ALTA TENSIÓN**

Autor: Gilberto Enríquez Harper

Editorial Limusa

### **LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA**

Autor: Gilberto Enríquez Harper

Editorial Limusa

### **EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES**

Autor: Gilberto Enríquez Harper

Editorial Limusa

# **A N E X O S**

# TABLA #1

## FACTORES DE CORRECCIÓN POR AGRUPAMIENTO PARA CABLES EN TUBERÍA CONDUIT

NÚMERO DE CONDUCTORES	FACTOR
1 A 3	1.00
4 A 24	0.80
7 A 24	0.70
25 A 42	0.60
43 Y MÁS	0.50



FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE

TEMPERATURA MÁXIMA DEL AISLAMIENTO	60°C		75°C		85°C		90°C		
	THWN, RUW, I, TW TWD, MTW	AL AIRE	RH, RHW, RUH, THW, THWN, DF, XHHW	AL AIRE	PILC, V, MI	EN TUBERÍA O CABLE	AL AIRE	EN TUBERÍA O CABLE	AL AIRE
TIPOS									
CALIBRE AWG ó MCM	EN TUBERÍA O CABLE	AL AIRE	EN TUBERÍA O CABLE	AL AIRE	EN TUBERÍA O CABLE	AL AIRE	EN TUBERÍA O CABLE	AL AIRE	EN TUBERÍA O CABLE
14	15	20	15	20	25	30	25	30	30
12	20	25	20	25	30	40	30	40	40
10	30	40	35	40	40	55	40	55	55
8	40	55	45	65	50	70	50	70	70
6	55	80	65	95	70	100	70	100	100
4	70	105	85	125	90	135	90	135	135
2	95	140	115	170	120	180	120	180	180
1/0	125	195	150	230	155	245	155	245	245
2/0	145	225	175	265	185	285	185	285	285
3/	165	260	200	310	210	330	210	330	330
4/0	195	300	230	360	235	365	235	365	365
250	215	340	255	405	270	425	270	425	425
300	240	375	285	445	300	480	300	480	480
350	260	420	310	505	325	530	325	530	530
400	280	455	335	545	370	575	360	575	575
500	320	515	380	620	405	660	405	660	660
600	355	575	420	690	455	740	455	740	740
700	385	630	460	755	490	815	490	815	815
750	400	655	475	785	500	845	500	845	845
800	410	680	490	815	515	880	515	880	880
900	435	730	520	870	555	950	535	940	940
1000	455	780	545	935	585	1000	585	1000	1000

NÚMERO DE CONDUCTOR QUE SE PUEDEN ALOGAR EN TUBERÍA CÓNDUIT

TIPO DEL CONDUCTOR	CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG ó MCM	DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO												
		1/2" 13 mm	3/4" 19 mm	1" 25 mm	1 1/4" 32 mm	1 1/2" 38 mm	2" 51 mm	2 1/2" 63 mm	3" 76 mm	3 1/2" 89 mm	4" 102 mm			
T TW THW	14	8	14	22	39	54		****	****	****	****	****	****	****
	12	6	11	17	30	41	68	****	****	****	****	****	****	****
	10	4	8	13	23	32	52	****	****	****	****	****	****	****
RHW Y RHH (SIN CUBIERTA EXTERIOR)	8	2	4	7	13	17	28	40	****	****	****	****	****	****
	14	5	9	15	26	36	59		****	****	****	****	****	****
	12	4	7	12	21	29	47		****	****	****	****	****	****
	10	3	6	9	17	23	38	53	****	****	****	****	****	****
T, TH Y THW RHW Y RHH (SIN CUBIERTA EXTERIOR)	8	1	3	5	10	13	22	32	49	****	****	****	****	****
	6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	****	****	****	****
	4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	47	****	****	****
	2	1	1	2	4	5	9	13	20	27	34	****	****	****
	1/0	****	1	1	2	3	5	8	12	16	21	****	****	****
	2/0	****	1	1	1	3	5	7	10	14	18	****	****	****
	3/0	****	1	1	1	2	4	6	9	12	15	****	****	****
	4/0	****	****	1	1	1	3	5	7	10	13	****	****	****
	250	****	****	1	1	1	2	4	6	8	10	****	****	****
	300	****	****	****	1	1	2	3	4	6	8	****	****	****
	350	****	****	****	1	1	1	2	3	5	7	****	****	****
400	****	****	****	1	1	1	1	3	4	6	****	****	****	
500	****	****	****	1	1	1	1	2	4	5	****	****	****	

**INTERRUPTORES INDUSTRIALES EN CAJA  
MOLDEADA TABLAS DE SELECCIÓN  
CLASE 680**

**TABLA DE SELECCIÓN**

<b>CORRIENTE NOMINAL EN AMPERES</b>	<b>GAMA DE AJUSTE DE DISPARO EN AMPS.</b>	<b>TRES POLOS No. CATÁLAGO</b>
3		
7	18-58	FAL3600311M
15	50-150	FAL3600312M
30	50-150	FAL3600313M
30	100-300	FAL3600314M
50	75-260	FAL3600315M
50	150-460	FAL3600316M
100	150-460	FAL3600316M
100	275-1000	FAL3600318M

**ARRANCADORES A TENSIÓN PLENA  
NO REVERSIBLES CON INTERRUPTORES MAG-GARD**

<b>CABALLOS DE POTENCIA CTE.</b>		<b>TAMAÑO NEMA</b>	<b>AMPS. INT.</b>	<b>ESPACIO IN</b>
<b>220</b>	<b>224</b>			
2M5BA 22	M6BA 1	1	3	
2M5BA 1	M6BA 3	1	7	12
2M5BA 3	M6BA 7.5	1	15	
2M5BA 7.5	M6BA 10	1	30	
	M6BA 15		30	
2M5BA 10	M6BA 25	2	50	12
2M5BA 15		2	100	
			50	
2M5BA 30	M6BA 50	3	100	18
	M6BA 75	4	250	21
2M5BA 40	M6BA 100	4	250	21
2M5BA 50				
2M5BA 60	M6BA 125	5	250	42
2M5BA 75	M6BA 150	5	400	48
2M5BA 100	M6BA 200	5	400	48

TABLA DE FACTORES DE CAIDA DE TENSION  
UNITARIO PARA CABLES DE COBRE

CALIBRE	TC= 75° C				TC= 90° C			
	Fp=80%		Fp=100%		Fp=80%		Fp=100%	
	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO
AWG-MCM	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO	METÁLICO	NO METÁLICO
20	33.13	33.12	41.3	41.3	34.73	34.73	43.3	43.3
18	20.86	20.86	26	26	21.87	21.87	27.3	27.3
16	13.14	13.4	16.3	16.3	13.78	13.78	17.1	17.1
14	8.31	8.31	10.3	10.3	8.7	8.7	10.6	10.76
12	5.25	5.25	6.47	6.47	5.5	5.5	6.77	6.77
10	3.32	3.32	4.06	4.06	3.48	3.48	4.26	4.26
8	2.12	2.12	2.55	2.55	2.22	2.22	2.68	2.68
6	1.35	1.35	1.6	1.6	1.42	1.42	1.68	1.68
4	0.874	0.874	1.01	1.01	0.914	0.914	1.06	1.06
2	0.574	0.57	0.637	0.637	0.599	0.594	0.667	0.667
1/0	0.388	0.381	0.401	0.401	0.403	0.397	0.419	0.42
2/0	0.32	0.312	0.317	0.317	0.333	0.325	0.332	0.333
3/0	0.268	0.26	0.253	0.253	0.238	0.27	0.274	0.265
4/0	0.225	0.217	0.212	0.212	0.233	0.225	0.22	0.211
250	0.201	0.193	0.171	0.171	0.208	0.2	0.189	0.179
300	0.178	0.17	0.141	0.141	0.184	0.175	0.158	0.15
350	0.162	0.154	0.124	0.124	0.167	0.159	0.137	0.13
400	0.151	0.142	0.11	0.11	0.157	0.146	0.121	0.115
500	0.145	0.125	0.109	0.109	0.138	0.128	0.099	0.094
600	0.124	0.114	0.076	0.076	0.128	0.117	0.084	0.08
750	0.144	0.103	0.064	0.064	0.116	0.105	0.07	0.066
1000	0.105	0.093	0.052	0.052	0.107	0.094	0.056	0.054

<b>FACTOR DE DEMANDA</b>			
<b>COMERCIAL</b>		<b>INDUSTRIAL</b>	
<b>COMERCIO</b>	<b>F.D.</b>	<b>INDUSTRIA</b>	<b>F.D.</b>
Alumbrado Público	1.00	Acetileno (fábrica de)	0.70
Apartamentos	0.35	Armadoras de autos	0.70
Bancos	0.70	Carpinterías (talleres de)	0.65
Bodegas	0.50	Carne (empacadoras)	0.80
Casinos	0.85	Cartón (productos de)	0.50
Correo	0.30	Cemento (fábrica de)	0.65
Escuelas	0.70	Cigarros (fábrica de)	0.60
Garages	0.60	Dulces (fábrica de)	0.45
Hospitales	0.40	Fundación (talleres de)	0.70
Hoteles chicos	0.50	Galletas (fábrica de)	0.55
Hoteles grandes	0.40	Hielo (fábrica de)	0.90
Iglesias	0.60	Herrería (talleres de)	0.50
Mercados	0.80	Imprentas	0.60
Multifamiliares	0.25	Jabón (fábrica de)	0.60
Oficinas	0.65	Lámina (fábrica, artículos)	0.70
Restaurantes	0.65	Lavandería mecánica	0.80
Teatros	0.60	Niquelado (talleres de)	0.75
Tiendas	0.65	Madedería	0.65
<b>FACTORES DE DEMANDA MÁS USUALES PARA EL CÁLCULO DE TRANSFORMADORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>		Marmolería (talleres de)	0.70
		Mecánico (taller)	0.75
		Muebles (fábrica de)	0.65
		Pan (fábrica de)	0.55
		Papel (fábrica de)	0.75
		Periódicos (rotativas)	0.75
		Pinturas (fábrica de)	0.70
		Química (industrias)	0.50
		Refinerías (petróleos)	0.60
		Refrescos (fábrica de)	0.55
		Textiles (fábrica de telas)	0.65
		Vestidos (fábrica de)	0.45
		Zapatos (fábrica de)	0.65

**TABLA #9**

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN			TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE POTENCIA		
ALTO VOLTAJE NOMINAL	BAJO VOLTAJE NOMINAL	KVA	ALTO VOLTAJE NOMINAL	BAJO VOLTAJE NOMINAL	KVA
480	220/127	9	2400	480	750
		15		480/277	1000
		30		600	1500
		45		480	750
2400	220/127 440/254 600	9	6600	480/227	1000
		15		600	1500
		30	10800 12000 13200 13800 15000	480	750
		45		480/227	1000
		75		600	2000
		112.5		240/4160 Y	750
		150			1000
		225			1500
		300			2000
		500			2500
		4160 6600		220/127 440/254 600	9
15	5000				
30	750				
45	1000				
75	1500				
112.5	2000				
150	2500				
225	3750				
300	5000				
500	750				
10800 12000 13200 10800 12000	220/127 440/254 600		9		33000 34500
		15	1500		
		30	2000		
		45	2500		
		75	3750		
		112.5	5000		
		150	1000		
		225	1500		
		300	2000		
		500	2500		
		20000 22900	220/127 440/254 600	45	
75	5000				
112.5	1500				
150	2000				
225	2500				
300	3750				
500	5000				
150	1500				
225	2000				
300	2500				
500	3750				
33000 34500	220/127 440/254 600	45	10800 12000 13200 13800 15000	2400/4160 Y	1500
		75			2000
		112.5			2500
		150			3750
		225			5000
		300			1500
		500			2000
		150			2500
		225			3750
		300			5000
		500			1500
10000 13200 13800 15000	2400 4160 6600	150	CAPACIDAD DE LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS EN KVA		
		225			
		300			
		500			
		150			
		225			
		300			
		500			
		150			
		225			
		300			
500					

**TABLA #10**

CLASE	DIMENSIONES (m. m.)			PESO (KG)
	A	B	C	
AR-3	112.87	123.63	236.5	2.5
AR-6	141.48	123.63	265.11	2.8
AR-7.5/8	209.55	138.11	347.66	3.8
AR-9/10	209.55	138.11	347.66	3.8
AR-12	238.13	173.03	411.16	4.4
AR-15	292.12	187.3	179.43	5
AR-15	293.71	204.76	496.47	5.2
AR-21	349.28	215.87	565.15	5.8
AR-24	382.65	244.41	627.06	6.4
AR-27	426.64	274.46	709.1	7.5
AR-30	468.1	301.51	469.62	9.3

