



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales**

**A R A G O N**

37

PROYECTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS PARA LA  
REMODELACION Y AMPLIACION DEL EDIFICIO TERMINAL  
DEL AEROPUERTO DE CIUDAD OBREGON SON.

Sist. 29234

# Tesis Profesional

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

p r e s e n t a

**CARLOS ESPINOZA ISLAS**



México, D. F.

1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

A R A G O N



ENEP ARAGON



ENEP ARAGON

CARLOS ESPINOZA LEAZ



1955

México, D.F.



UNIVERSIDAD NACIONAL

Autónoma

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON  
DIRECCION

CARLOS ESPINOZA ISLAS  
P R E S E N T E .

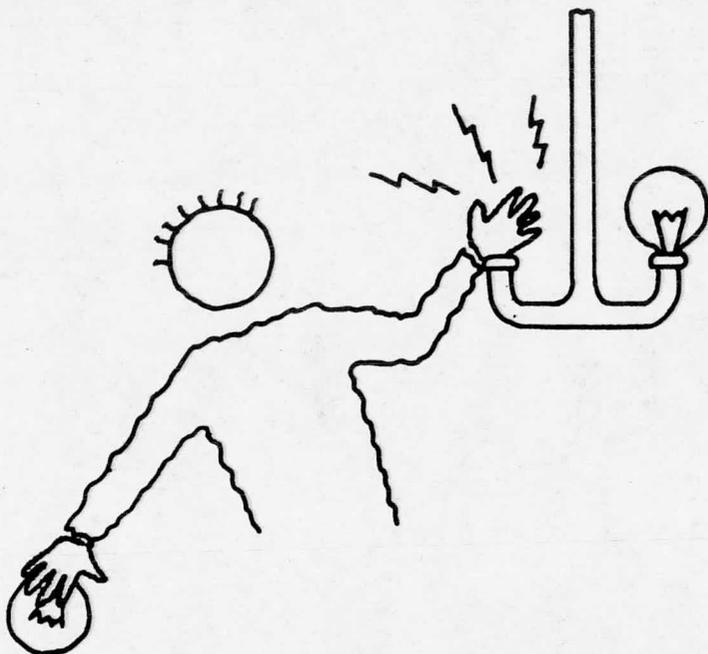
En contestación a su solicitud de fecha 2 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. CARLOS GONZALEZ CARPIO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " PROYECTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS PARA LA REMODELACION Y AMPLIACION DEL EDIFICIO TERMINAL DEL AEROPUERTO DE LA CIUDAD DE OBREGON SONORA ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Méx., septiembre 9 de 1985.  
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería (26).  
Unidad Académica.  
Departamento de Servicios Escolares.  
Asesor de Tesis.



Con gratitud y respeto a mi escuela,  
maestros, asesores, familiares, ami-  
gos y todas aquellas personas que me  
brindaron su ayuda para la elabora-  
ción de este trabajo.

# I N D I C E

	Págs.
INTRODUCCION . . . . .	1
CAPITULO I	
CONDICION ESTADO ACTUAL . . . . .	3
A ILUMINACION . . . . .	3
B CANALIZACIONES . . . . .	4
C ALIMENTADORES . . . . .	4
D PROTECCIONES . . . . .	4
E TABLEROS DE DISTRIBUCION . . . . .	6
F SUBESTACION ELECTRICA . . . . .	6
G SISTEMA DE TIERRAS Y PARARRAYOS . . . . .	12
H APARTARRAYOS . . . . .	12
I SISTEMA DE EMERGENCIA . . . . .	12
I.1 INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA . . . . .	13
CAPITULO II	
PROPUESTA DE DESARROLLO DE REMODELACION Y AMPLIACION . . . . .	14
A. SISTEMA DE BAJA TENSION . . . . .	14
A.1 ILUMINACION . . . . .	14
A) INTENSIDAD DE ILUMINACION . . . . .	15
B) UNIFORMIDAD DE LA ILUMINACION . . . . .	16
C) DIFUSION ADECUADA . . . . .	16
D) DESLUMBRAMIENTO . . . . .	16
E) COLOR DE LA LUZ . . . . .	16
A.1.1 DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE ILUMINACION . . . . .	17
A.1.2 PROYECTO DE ALUMBRADO . . . . .	18
A.1.3 DISTRIBUCION DEL NUMERO DE LUMINARIAS . . . . .	26

A.1.4 DISTRIBUCION DE CONTACTOS . . . . .	28
A.2 SELECCION DEL SISTEMA NORMAL Y DE EMERGENCIA PARA ALUMBRADO Y FUERZA . . . . .	29
A.3 SELECCION DE TABLEROS DE DISTRIBUCION Y DETERMINACION DE - CIRCUITOS DERIVADOS . . . . .	29
A.4 CALCULO DE ALIMENTADORES DE CIRCUITOS DERIVADOS Y PRIMARIOS	31
A.4.1 METODOS DE CALCULO Y CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA SELEC - CION DE CONDUCTORES . . . . .	32
A.5 CALCULO Y SELECCION DE CANALIZACIONES . . . . .	44
B. SUBESTACION ELECTRICA . . . . .	45
B.1 GENERALIDADES . . . . .	45
B.2 ESTIMACION DE CARGA . . . . .	45
B.3 CALCULO DE LA CAPACIDAD DE LOS FUSIBLES DE POTENCIA . . . . .	51
B.4 SELECCION DE PROTECCIONES EN ALTA TENSION . . . . .	55
CAPITULO III	
DISPOSITIVOS DE PROTECCION PARA UNA SUBESTACION ELECTRICA . . . . .	65
A. COORDINACION DE PROTECCIONES . . . . .	65
A.1 APLICACION DE DISPOSITIVOS Y ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN - EL ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES . . . . .	66
A.2 LIMITES DE EQUIPO DE PROTECCION . . . . .	68
A.3 AJUSTE DE DISPOSITIVOS Y CALCULO DE PROTECCION . . . . .	69
B. SISTEMA DE PROTECCION CONTROL DESCARGAS ATMOSFERICAS . . . . .	80
B.1 FACTORES QUE GOBIERNAN LA DECISION DE SU INSTALACION . . . . .	80
B.2 CRITERIO DE DISEÑO . . . . .	83
C. SISTEMA DE TIERRAS . . . . .	87
C.1 DIFERENCIA DE POTENCIAL TOLERABLES DE PASO, TOQUE Y VOLTA - JES TRANSFERIDOS . . . . .	88
C.2 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO . . . . .	94
D. APARTARRAYOS . . . . .	95

#### CAPITULO IV

A. SISTEMA DE EMERGENCIA . . . . .	99
A.1 SELECCION DE LA PLANTA ELECTRICA . . . . .	103
A.2 CIRCUITO DE CONTROL DE TRANSFERENCIA Y PARO . . . . .	107
A.3 INTERRUPTOR AUTOMATICO DE TRANSFERENCIA . . . . .	110
A.3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS INTERRUPTORES DE - TRANSFERENCIA . . . . .	113

#### CAPITULO V

PROGRAMA PARA EL RETIRO E INSTALACION DEL EQUIPO ELECTRICO DEL - EDIFICIO TERMINAL DE REFERENCIA . . . . .	115
A. INTRODUCCION . . . . .	115
B. RETIRO E INSTALACION DE EQUIPO ELECTRTCO EN SUBESTACION ELEC - TRICA . . . . .	117
C. SISTEMA DE EMERGENCIA . . . . .	120
CONCLUSIONES . . . . .	121
BIBLIOGRAFIA . . . . .	122

## I N T R O D U C C I O N

Al finalizar la segunda guerra mundial el progreso de la aviación comercial, a logrado grandes avances de la tecnología aeronáutica. Dichas aeronaves han evolucionado desde las aeronaves de hélice accionadas por motores de émbolo y de combustión interna, hasta motores de turbinas a reacción o retroimpulso, alcanzando con ello mayores velocidades de acuerdo a nuestra época.

Nuestro país cuenta con varios aeropuertos que fueron construidos en administraciones públicas anteriores de acuerdo a normas y especificaciones que en ese entonces regían en función al tipo de aviones que en ese momento funcionaban, por consiguiente debido al progreso de la aviación, y a la creciente demanda de transportación aérea, los aeropuertos en la República Mexicana, se han visto en la necesidad de ser ampliados y remodelados, ya que además de estar saturados resultan anticuados y poco funcionables, para las condiciones actuales.

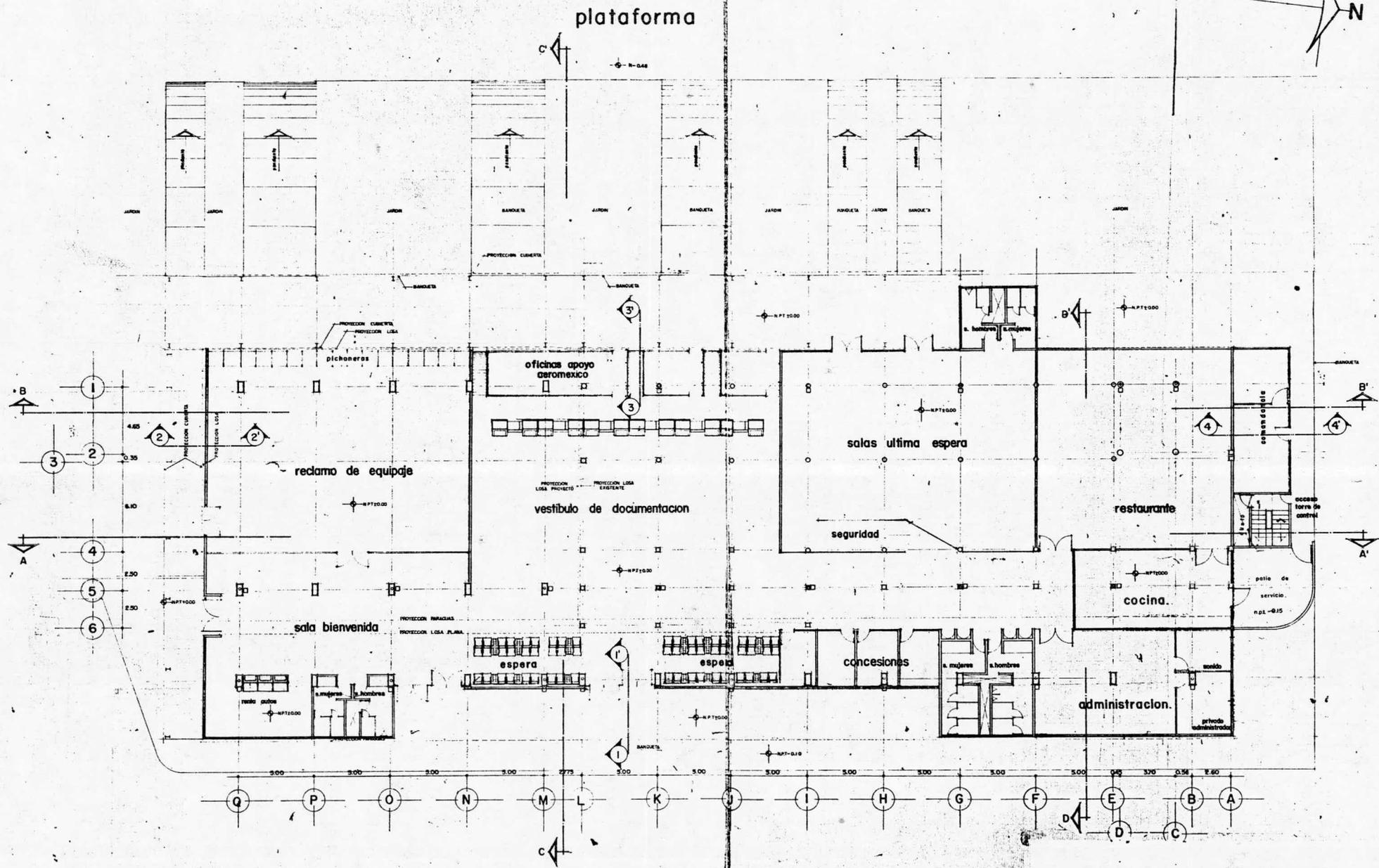
Como consecuencia, el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ( SCT ), conjuntamente con Aeropuertos y Servicios Auxiliares elaboraron un programa de construcción, así como de adaptaciones a los aeropuertos para cumplir con seguridad en la operación de las modernas aeronaves.

De acuerdo a lo anterior y a las necesidades futuras, actualmente se encuentra en proceso de remodelación y ampliación el Aeropuerto Nacional de Ciudad Obregón, Sonora, y su infraestructura tiene que ver con instalaciones de diversa índole, entre las cuales una de las más importantes es la instalación eléctrica.

El Edificio Terminal está diseñado para agilizar las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros y equipajes, construido en una área de 692 m<sup>2</sup>. Consta de una planta la cual está constituida por:

Sala de bienvenida, entrega de equipaje, oficinas de apoyo de Aero--  
méxico, vestíbulo de documentación, sala de espera, salas última es  
pera, seguridad, concesiones, restaurante, cocina, administración, -  
comandancia, renta autos y sanitarios (Plano 1).

El trabajo de tesis trata de la problemática de las instalacio-  
nes eléctricas, y de la necesidad de mejorar las instalaciones de -  
acuerdo a la remodelación, con la finalidad de asegurar la confiabi-  
lidad y continuidad de servicio que los modernos aeropuertos requiere  
n para la seguridad y confort de los usuarios y el problema de mo  
dificar las instalaciones sin interrumpir el servicio de energíaeléctr  
ica del Aeropuerto.



U. N. A. M.		E. N. E. P. A. R. A. G. O. N.	
AEROPUERTO NACIONAL DE CD. OBREGON SON.			
PROYECTO DE AMPLIACION			
PLANTA ARQUITECTONICA			
TESIS PROFESIONAL DE CARLOS ESPINOZA ISLAS			
AGOSTO 10-85	ESC: 1:100	DIBUJO: A. M. C.	PLANO No. 1

## C A P I T U L O I

### Condiciones estado actual

En este Capítulo se dará un panorama general de las condiciones actuales de las instalaciones eléctricas del edificio terminal. Concretamente en lo que se refiere a iluminación, alimentadores, canalizaciones, protecciones, tableros, subestaciones y sistema de emergencia.

Para con esto además de dar un panorama general de las instalaciones eléctricas, es mostrar los problemas que actualmente se tienen con dichas instalaciones.

#### a. Iluminación.

La iluminación es indirecta, de tipo fluorescente e incandescente de las siguientes características:

##### Iluminación fluorescente.

Lámparas empotradas de 2 x 38 W Slim line.

Volts de operación 127 Volts c.a.

Frecuencia 60 c.p.s.

Difusor acrílico prismático.

##### Iluminación Incandescente.

Lámparas sobrepuestas 75 W.

Volts de operación 127 V c.a.

Frecuencia 60 c.p.s.

La iluminación se midió con un luxómetro y se observó que el nivel de iluminación era igual en todo el edificio (185 lux aproximadamente).

Como se observa no se determinó un nivel de iluminación adecuado, como lo recomienda la sociedad de Ingeniería en Iluminación (IES) pa

ra cada área diferente de acuerdo a las actividades, a desarrollar como son oficinas, bodegas, etc. (Ver tabla 1).

En la tabla 1 se dan algunos niveles de iluminación para zonas de trabajo (en cualquier punto de zona y momento) para evitar la mínima fatiga visual.

Estos niveles no se deberán ver afectados por el tiempo y la suciedad.

#### b) Canalizaciones.

Las canalizaciones son de tipo charola y conduit actualmente se encuentran en mal estado físico, algunas de ellas saturadas con un factor de relleno de aproximadamente del 80%, cuando debería ser del 40%, esto se debe a que con el tiempo se fueron agregando más circuitos y, por lo tanto, más cables provocando calentamiento y disminuyendo la capacidad para conducir corriente y por lo tanto aumentando las pérdidas por efecto Joule.

#### c) Alimentadores.

Al paso del tiempo los alimentadores tanto primarios como derivados se fueron sobrecargando ocasionando con esto un calentamiento en los mismos, además que el aislamiento se encuentra muy deteriorado debido al envejecimiento en su aislamiento ocasionando con esto una disminución en su resistencia, esta reducción además se debe a otros factores, como sobrecargas, humedad, etc., que hacen que los alimentadores ya no llenen los requisitos que establecen las normas sobre instalaciones eléctricas.

Por las razones anteriores los alimentadores en la actualidad resultan poco confiables.

#### d) Protecciones.

Las protecciones en el tiempo que tienen en servicio ha sido casi nulo su mantenimiento, por lo que los hace poco confiables en su funcionamiento, además que con la carga que se le fué anexando, con el



tiempo resultan ser de capacidad muy pequeña, ocasionando que en algunos por esta razón se estén disparando constantemente por sobrecarga. Otro factor que se debe corregir es el relacionado con el cortocircuito, ya que éste aumenta al aumentar la carga (aire acondicionado y fuerza). Por las razones anteriores actualmente resultan inadecuadas.

#### Características eléctricas de los interruptores.

Los interruptores son termomagnéticos de las siguientes características:

Interruptor tipo QO usados en tableros Tipo QO y NQO voltaje máximo 120/240 c.a. # de polos 1 rango en amperes 15-30-70 y 100, capacidad interruptiva R.M.S. amperes simétricos 5000.

#### e) Tableros de distribución.

En los tableros de distribución se encuentran saturados los circuitos, además su gabinete ya se encuentra deteriorado a causa de la humedad y en si a su uso.

Los tableros de distribución son de las siguientes características:

3 fases - 4 hilos.

220/127 Volts c.a.

# de polos 12 y 14.

Capacidad interruptiva 5000 amp.

Tipo de tableros catálogo QO-12 F y QO-14F.

#### f) Subestación Eléctrica.

La actual subestación eléctrica se encuentra saturada debido a las razones anteriormente mencionadas, además que con la remodelación y ampliación que se le hace a dicho edificio la carga que deberá alimentar tendrá un incremento considerable. De aquí la necesidad de diseñar una nueva subestación eléctrica, con capacidad adecuada.

Se cuenta en la actualidad con dos acometidas eléctricas en al-

ta tensión, para el suministro de energía eléctrica a las subestaciones del edificio terminal y de ayudas visuales, controladas por un mismo equipo de medición en alta tensión, el voltaje de suministro primario es de 13.2 KV, en su sistema trifásico, en línea aérea y subterránea (llegada a las subestaciones mencionadas) Ver. diagrama unifilar.

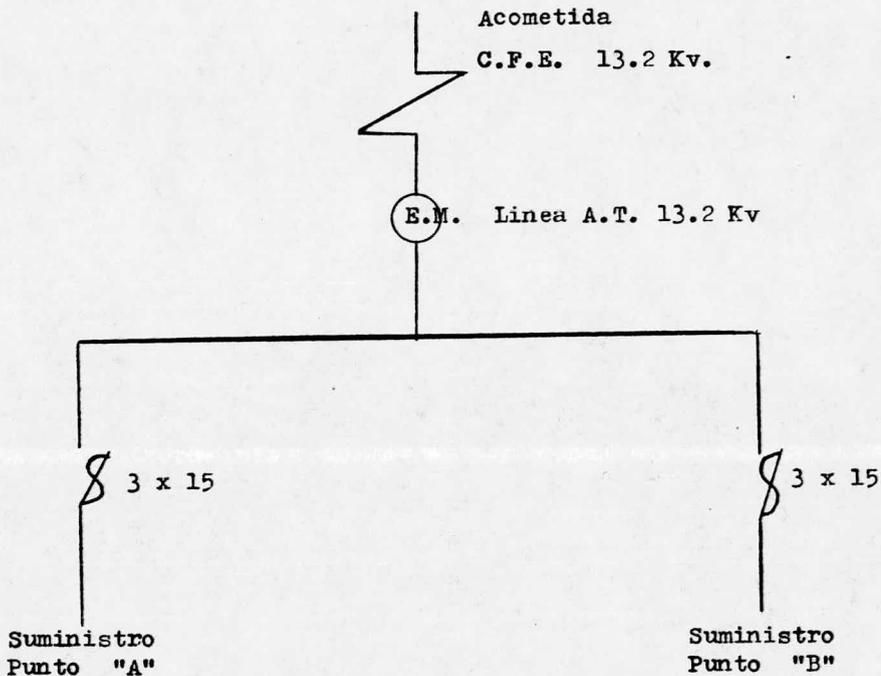


Diagrama Unifilar del Suministro de Energía.

Algunos problemas que se presentan continuamente en este aeropuerto relacionado al suministro de la energía eléctrica, en la actualidad son los siguientes:

- a) Compañía suministradora.
  - a.1 Bajo voltaje.

a.2 Fluctuaciones.

a.3 Cortes de energía prolongados.

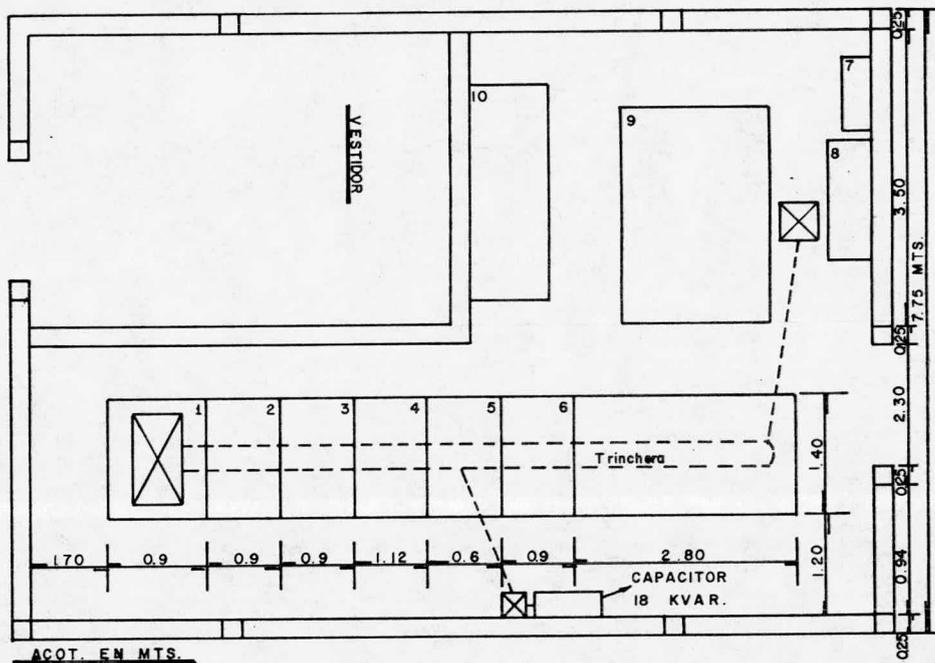
b) Aeropuerto.

b.1 Bajo factor de potencia.

b.2 Sobrecargas.

Se tiene instalado en alimentación general de baja tensión un ca  
pacitor de 18 Kvar por bajo factor de potencia.

DISTRIBUCION DE SUBESTACION ELECTRICA DEL EDIFICIO  
 TERMINAL AEREO



## DESCRIPCION DE EQUIPO DE SUBESTACION

- 1.- Gabinete acometida eléctrica 13.2 Kv c.a. marca SQUARE'D.
- 2.- Gabinete grupo cuchillas desconectadoras de prueba, marca AIESA.
- 3.- Gabinete interruptor de potencia en aceite (Westhinghouse) 3x15 -  
A. Mca. SQUAR'D.
- 4.- Transformador de distribución 225 Kva relación 13.2 KV/220-127 -  
Volts c.a., 60 Hz., conexión delta estrella. Mca. AIESA.
- 5.- Gabinete en 220-127 Vc.a., conteniendo equipo de medición (Vólme-  
tro, Ampermetro, contador de demanda máxima), interruptor general  
de tipo de electromagnético, marco 600 amp. tipo 2A-25, un espa -  
cio para interruptor derivado (libre), Gabinete Mca. SQUARE'D.
- 6.- Gabinete en B.T. 220-127 Vc.a., 3 $\phi$ - 4H. que contiene interruptor-  
termomagnéticos derivados (16), Gabinete Mca. SQUARE'D.
- 7.- Gabinete equipo de medición en B.T. 220/127 V 3 $\phi$  - 4H, 60 Hz. de  
planta de emergencia.
- 8.- Gabinete de control de transferencia. Mca. AIESA.
- 9.- Planta de emergencia sin marca, de 50 KW de capacidad, 30 - 4H, -  
220-127 Vc.a. F.P. = 0.8(-) diesel eléctrica.
- 10.- Tanque de combustible planta de emergencia 2000 litros.

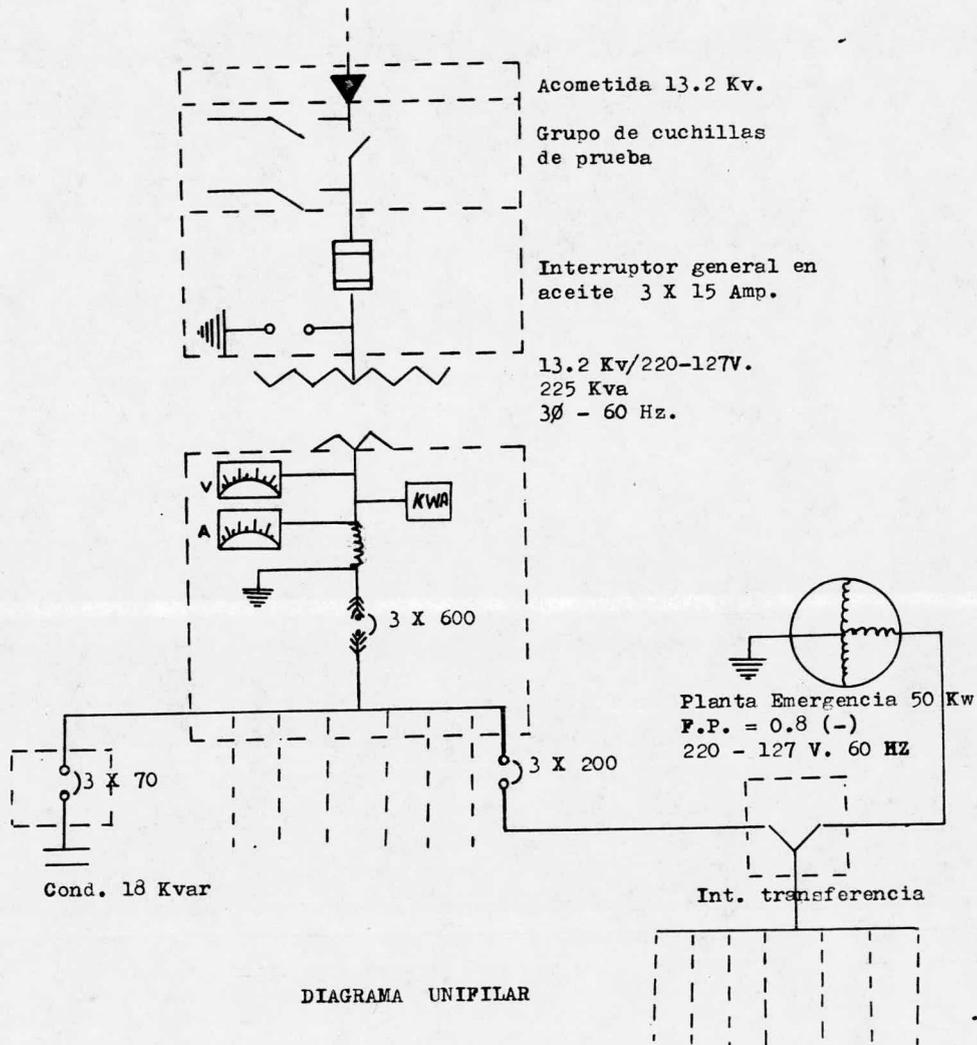


DIAGRAMA UNIFILAR

g) Sistema de tierras y Pararrayos.

El sistema de tierras y pararrayos existentes será reutilizada - y sólo se le harán las modificaciones pertinentes de acuerdo a la ampliación del edificio del aeropuerto en referencia.

h) Apartarrayos.

El apartarrayos existente se encuentra en condiciones aceptables y es de una capacidad de 9 Kv. de tensión nominal.

i) Sistema de emergencia.

Se cuenta como ya se menciona con una planta de emergencia de 50 Kw de capacidad. De las siguientes características.

3 fases - 4 hilos

220/127 Volts C.A.

Factor de potencia = 0.8 (-)

Motor Diesel Perkins: de 4 tiempos; de aspiración natural, 6 cilindros en línea, relación de compresión 16:1, potencia: 82 Hp a 1800 r.p.m.

Sistema de enfriamiento.- Por medio de agua, radiador con malla-protectora, bomba centrífuga, termostato indicador de temperatura.

Sistema de lubricación.- Totalmente a presión por medio de bomba de engranes, indicador de presión.

Sistema de arranque.- Eléctrico de 12 Volts c.d., con motor de arranque, botón de arranque: generador y regulador automático para carga de batería, batería de 12 Volts, 27 placas, 175 amp/hr.

Alternador: Campo rotatorio, 4 polos, acoplado al motor por medio de cople flexible de disco de acero.

Regulador de voltaje: Automático tipo sólido para usarse en generadores sincrónicos sin escobillas con resistencia mínima 40 (ohm) a 23°C. Con una regulación de  $\pm 2\%$  desde cero hasta plena carga.

Ajuste de voltaje de  $\pm 10\%$  de valor nominal.

Salida continua máxima de corriente de 1.5 amperes durante 2 minutos.

i.1) Interruptor de transferencia.

Interruptor de transferencia de las siguientes características:

Interruptor de transferencia "Changematic"

Interruptor de transferencia en caja NEMA 2

Catálogo CH - 8

Capacidad 600 Amperes.

Marca NMT.

Debido a la ampliación y remodelación del aeropuerto, el sistema de emergencia por consiguiente también aumentó ocasionando, con esto, que el sistema de emergencia actual, sea insuficiente para cubrir dichas necesidades. Es por esto que se instalará un sistema de emergencia de mayor capacidad.

## C A P I T U L O   I I

Propuesta y Desarrollo de Remodelación y Ampliación.

### A. Sistemas de baja tensión.

Una instalación eléctrica adecuada, es aquella que se realiza de tal forma que resulta completamente segura, de la que se puede sacar el máximo aprovechamiento y facilidad de utilizar la energía eléctrica con el mínimo de inconvenientes. Debiéndose entender para esto, que no basta únicamente proceder para la misma de acuerdo a las Normas Técnicas para instalaciones eléctricas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, ya que éste sólo contiene los requerimientos básicos de seguridad y, por lo tanto, obtendremos con su aplicación - una instalación libre de riesgos, pero no siempre eficaz. Por lo tanto, aplicaremos no sólo el reglamento antes mencionado, sino que también deberemos aplicar un criterio adecuado, con lo cual se pretende obtener flexibilidad, seguridad y continuidad de servicio de dichas - instalaciones eléctricas.

#### A.1 Iluminación.

Cualidades que debe reunir una buena iluminación interior.

Si se tiene en cuenta que, por lo menos, una quinta parte de la vida del hombre, transcurre bajo alumbrado artificial se comprenderá el interés que hay en establecer normas prácticas para realizar los - proyectos de iluminación interior de forma que se sumen la economía, - la comodidad visual y el sistema de alumbrado más apropiado para una determinada función.

Una buena iluminación, en un sistema industrial, es un factor de productividad y de rendimiento en el trabajo además de que aumenta la seguridad del personal; en el caso de alumbrado comercial, es un decisivo factor de atracción para el público; finalmente, en el caso de -

alumbrado doméstico se mejora el confort visual y hace más agradable y acogedora la vida familiar.

La característica de un buen sistema de iluminación, es aquella que llena los requisitos necesarios para satisfacer los conceptos - fundamentales de la percepción visual permitiendo ver con facilidad, rapidez y precisión.

En el caso de un mal alumbrado, existen distorsión de colores o de imágenes, cansancio, molestias, etc., bien porque la intensidad - lumínica sea insuficiente o bien porque existe deslumbramiento, siempre será motivo de accidentes y baja eficiencia en el trabajo, éstoes importante, ya que se hace necesario emplear más tiempo para realizar un determinado trabajo a consecuencia de la disminución en la capacidad de visión del ojo. Un mayor consumo de tiempo de trabajo - cuesta generalmente más que los aparentes ahorros que se consiguen - por el empleo de aparatos de luz baratos o por intensidades de luz - reducidas; por lo tanto, un buen alumbrado resulta siempre más barato que un mal alumbrado, si se tiene en cuenta el rendimiento obtenido en el trabajo.

Los requisitos que debe llenar una buena iluminación interior - son los siguientes:

a) Intensidad de Iluminación.- Las intensidades de iluminación - que deben ser adaptadas en cada caso para establecer el cálculo, dependen evidentemente de la naturaleza del local, así como del trabajo u operación a realizar en el mismo. Una intensidad de iluminación suficiente, es la condición fundamental para que veamos con claridad los objetos colocados a nuestro alrededor. Para cada trabajo hay un nivel de iluminación en el cual se puede efectuar éste en las condiciones más favorables de visibilidad, es decir, se realizan con un - mínimo de cansancio visual. Los niveles de iluminación necesarios, según las distintas clases de tareas visuales, se especifican en los -

manuales de alumbrado.

b) Uniformidad en la iluminación.— Los acentuados contrastes de la intensidad luminosa y las sombras, al pasar de un lugar con un nivel de iluminación existente a otro distinto, hacen que los ojos tengan una lenta adaptación al nuevo medio ambiente; se evita esta dificultad haciendo que el efecto de iluminación en la zona sea uniforme, repartiendo convenientemente los equipos de alumbrado en esa zona.

c) Difusión Adecuada.— Al lado del nivel de iluminación en el espacio y su uniforme reparto, es igualmente importante la dirección de la luz y la proyección de la sombra. Las sombras en el plano de trabajo originan errores de apreciación en las dimensiones de los objetos y un mayor esfuerzo visual. Por ello hay que procurar que la iluminación hacia el plano de trabajo provenga de varias direcciones, si se desea eliminar las sombras.

d) Deslumbramiento.— Para la obtención de buenas condiciones de visión es muy importante la supresión de cualquier deslumbramiento que pueda aparecer. Para ello hay que distinguir dos cosas: El primero es debido a que en el campo de la visión existen sitios cuya densidad lumínica es considerablemente mayor que la de todos los demás puntos de este campo. El deslumbramiento indirecto es causado por reflejo luminoso en superficies pulimentadas dentro del campo de visión. Generalmente las lámparas incandescentes o fluorescentes poseen un brillo molesto para la vista, y con el propósito de suprimir el deslumbramiento, se les acondicionan accesorios que guían y conforman su flujo luminoso.

e) Color de la luz.— Finalmente, aún hay que exigir para conseguir una buena iluminación, que el tono de la luz sea apropiada. El aspecto de los colores de los cuerpos dependen únicamente del color de la luz incidente. Generalmente la luz debe tener una composición tal que aparezcan los colores de los cuerpos como naturales; es decir que

comparando la apariencia de los objetos bajo la luz artificial no difiera mucho en relación con luz diurna. Ya que existen tipos de luz - que distorsionan los colores. El color del alumbrado debe causar buena impresión, si se quiere conseguir un ambiente psicológico agradable y un plan decorativo atrayente.

#### A.1.1 Determinación de la Intensidad de Iluminación.

Existen varios métodos para la determinación de la intensidad de iluminación de un local cerrado como son: Método punto por punto, Método de watts por metro cuadrado, Método de cavidad por zonas y el Método del flujo luminoso.

El método más recomendable y que dentro de su relativa sencillez proporciona excelentes resultados y de suficiente exactitud es el método del flujo luminoso ó método del lumen.

Este método está basado en la definición del lux, que es igual a un lumen por metro cuadrado y por lo tanto:

$$\text{Número de lux} = \frac{\text{Lúmenes incidentes sobre una superficie}}{\text{Area en metros cuadrados}}$$

Conociendo la emisión luminosa inicial de cada lámpara (dato suministrado por el fabricante), el número de éstas instalado en la zona y el área de ésta en metros cuadrados, pueden calcularse los lúmenes por metro cuadrado generados inicialmente en una determinada área. Este valor, sin embargo, difiere del número de lux en dicha área, ya que algunos lúmenes son absorbidos por la luminaria, y también debido a otros factores tales como la suciedad de la luminaria, la disminución gradual de la emisión de luz de las lámparas, etc. Estos factores, entre otros, se toman en consideración en este método. El cual se basa en los siguientes puntos:

- a) Nivel luminoso que se requiere.
- b) Selección del tipo de luminaria.
- c) Coeficiente de utilización.

- d) Factor de depreciación de la luminaria y/o fuente luminosa.
- e) Factor de mantenimiento.
- f) Cálculo del número de luminarias.
- g) Distribución de luminarias.

A continuación se expone el procedimiento a seguir por el método del lumen, para el diseño del alumbrado en una de las oficinas de apoyo de Aeromexico que es un local del edificio terminal del aeropuerto de referencia.

#### A.1.2 Proyecto de alumbrado de oficina.

1.- Determinación del nivel de iluminación.-El nivel de iluminación recomendado de acuerdo con la Sociedad de Ingenieros en Iluminación (I.E.S.), y Normas Internas A.S.A., para la oficina es de 700 Lux. (Ver tabla 1).

2.- Selección del tipo de Alumbrado y Equipo de Alumbrado.- El tipo de alumbrado se escoge según las necesidades del caso, dependiendo de la distribución que se desea dar a la luz emitida por la lámpara, interviniendo desde luego la arquitectura del lugar y los terminados o decoraciones del mismo. De acuerdo a lo anterior, el alumbrado de la oficina será alumbrado indirecto.

Para proporcionar el alumbrado adecuado a continuación se hace un análisis de las ventajas y desventajas de las lámparas fluorescentes e incandescentes.

Alumbrado con lámparas incandescentes.- Se obtiene la producción de la luz por la incandescencia de un filamento, generalmente de tungsteno en una ampolla de vidrio.

#### Ventajas de las lámparas incandescentes:

- a) Menor posibilidad de falla por la sencillez de su operación.
- b) No interrumpe su operación en caso de variaciones considerables de voltajes.

c) Valor inicial muy económico.

Desventajas:

- a) Menor eficiencia en lumen/watt.
- b) Menor duración (1000 horas)
- c) Mayor brillantez.
- d) Mayor radiación de calor.

Alumbrado con lámparas fluorescentes.- La producción de la luz es por la fluorescencia de sustancias, las cuales transforman las radiaciones ultravioleta, con que son excitadas en radiaciones de luz visible.

Las ventajas de la lámpara fluorescente son:

- a) Mayor eficiencia en lumen/watt (por lo tanto menor costo de energía).
- b) Mayor duración (7000 Hrs).
- c) Baja brillantez.

Las desventajas son las siguientes:

- a) Mayores posibilidades de falla (por el uso de equipo eléctrico auxiliar).
- b) Interrumpe su operación con fluctuaciones de voltaje (con 10% de voltaje abajo de la tensión normal).
- c) Inversión inicial más costosa.
- d) Distorsión de los colores.

Para una mayor visualización de las ventajas y desventajas de estas lámparas a continuación se hace un análisis y un cálculo de costos.

Consideremos un área de 6 x 4 m. y una altura de montaje de 2.80 m (Una oficina).

Cálculo del número de luminarias (Este cálculo se detalla más adelante).

Datos.

			INCANDESCENTE	FLUORESCENTE
L = 6 m	E = 7001x	$\rho = 30\%$	Lum/Lamp. = 1565	= 2800
A = 4 m	F.D. = .9	$\rho_r = 50\%$	Lamp/Lumi. = 1x100W	= 4x40W
Hm = 2.8m	F.M. = .7	$\rho_{\text{uso}} = 20\%$	C.U. = 0.43	= 0.43

$$\# \text{ Luminarias} = \frac{\text{Incandescente.}}{700 \times 24} = \frac{1565 \times .43 \times .7 \times .9 \times 1}{1565 \times .43 \times .7 \times .9 \times 1} = 39.6 = 40$$

$$S/\text{Lumi.} = \frac{1565 \times .43 \times .9 \times .7 \times 1}{700} = 0.60$$

$$e = \sqrt{0.60} = 0.77 \quad \# \text{ de filas} = 6/0.77 = 7.79 = 8$$

$$\# \text{ de hileras} = 4/0.77 = 5.16 \approx 5$$

$$\# \text{ total de lumi.} = 8 \times 5 = 40 \quad \text{Wtots.} = 40 \times 100 = 4000 \text{ W}$$

Para la fluorescente.

$$\# \text{ de luminarias} = \frac{700 \times 24}{2800 \times .43 \times .9 \times .7 \times 4} = 5.54 \approx 6$$

$$S/\text{lum.} = \frac{2800 \times .43 \times .9 \times .7 \times 4}{700} = 4.334 \quad e = \sqrt{4.334} = 2.08$$

$$\# \text{ Filas} = 6/2.08 = 2.88 \approx 3 \quad \# \text{ Hileras} = 4/2.08 = 1.9 \approx 2$$

$$\# \text{ tot. Lumi.} = 3 \times 2 = 6 \quad \text{W ot.} = 6 \times 200 = 1200 \text{ W.}$$

$$\# \text{ de lámparas} = 6 \times 4 = 24$$

Como se observó se requiere de casi el doble de lámparas incandescentes para una misma área.

Cálculo de costos (En este cálculo se hará únicamente con respecto a la lámpara).

Costo por unidad de lámpara incandescente aproximadamente 20% del costo por unidad de lámpara fluorescente.

Por lo tanto, la inversión inicial para cada tipo de lámpara, sería:

$$40 \times .20 = 8$$

$$24 \times 1 = 24$$

Ahora considerando la vida útil de cada lámpara.

Incandescente = 1000 hrs. (Promedio)

Fluorescente = 12000 Hrs. (Promedio)

Como se observa las lámparas incandescentes se tendrían que reemplazar 12 veces por una de las lámparas fluorescentes.

Por lo tanto,

$$8 \times 12 = 96$$

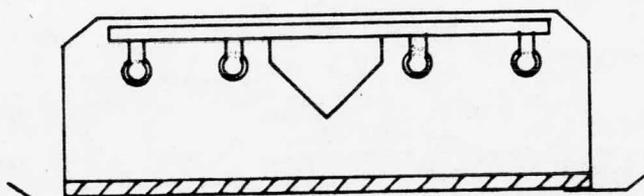
Con lo que observamos que los costos de inversión inicial de las lámparas fluorescentes es mayor que las incandescentes, pero considerando la vida útil vemos que al paso del tiempo es mucho más económico la utilización de lámparas fluorescentes.

En cuanto al consumo de energía (KW/Hr) se requiere más de 3 veces la energía de la fluorescente para la incandescente, y en la misma proporción que se tendría que aumentar la capacidad del transformador, además que la lámpara incandescente tiene mayor radiación de calor, por lo que tendrá que tomarse en cuenta el sistema de aire acondicionado, además que produce mayor brillantez, otro factor que se tendría que considerar es el calibre del conductor que sería de una mayor sección debido a que sería mayor la carga, acarreado con esto un aumento en el diámetro de las canalizaciones.

Por las razones anteriormente expuestas, se llega a la conclusión de optar por el empleo de lámparas fluorescentes. Las lámparas fluorescentes son las más apropiadas para el alumbrado comercial e industrial en bajas alturas de montaje (5 metros máximo).

Se selecciona un equipo de alumbrado fluorescente de arranque instantáneo con lámparas de 40 watts, 127 volts.

3.- Determinación del índice de cuarto.- El índice de local expresa la relación entre las dimensiones del local, la altura de montaje del equipo de alumbrado y su utilización lumínica, los valores de los índices de cuarto se obtienen mediante tablas formuladas en los



MODELO	LAMPARAS	WATTS	LARGO	ANCHO	ALTURA
EC 220	2	20	61	30.5	12
EC 420	4	20	61	61	12
EC 240	2	40	122	30.5	12
EC 440	4	40	122	61	12
EC 239	2	39	122	30.5	12
EC 439	4	39	122	61	12
EC 275	2	75	244	30.5	12
EC 475	4	75	244	61	12

Luminaria convencional modelo de Empotrar con bisel integral para plafones de suspensión oculta.

manuales de alumbrado, para nuestro diseño nos basaremos en la tabla

2:

Techo	80%			70%			50%		
Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
Indice Local	Coeficiente de Utilización								
J	.32	.27	.24	.31	.27	.24	.30	.26	.24
I	.40	.35	.32	.39	.43	.31	.37	.34	.31
H	.40	.40	.37	.43	.39	.36	.42	.38	.36
G	.51	.46	.42	.48	.44	.41	.46	.43	.30
F	.55	.50	.46	.51	.47	.44	.49	.46	.44
E	.60	.56	.52	.55	.52	.49	.53	.51	.48
D	.65	.60	.55	.59	.55	.52	.56	.54	.51
C	.66	.62	.59	.59	.57	.54	.57	.55	.53
B	.70	.68	.63	.61	.59	.57	.59	.57	.56
A	.72	.69	.66	.63	.61	.59	.61	.59	.58

TABLA 2.

## INDICE DEL LOCAL

ALTURA DEL TECHO EN METROS												
Para iluminación semidirecta e indirecta		2.75 a 2.90	3.00 a 3.50	3.70 a 4.10	4.30 a 5.00	5.20 a 6.00	6.40 a 7.30	7.60 a 9.00	9.50 a 11.00	11.30 a 15.30		
DISTANCIA DEL PISO AL FOCO LUMINOSO												
Para iluminación directa y semidirecta		2.15 a 2.30	2.45 a 2.60	2.75 a 2.90	3.00 a 3.50	3.70 a 4.10	4.30 a 5.00	5.20 a 6.00	6.40 a 7.30	7.60 a 9.00	9.50 a 11.00	11.30 a 15.30
Ancho del local (metros)	largo del local (metros)	INDICE DEL LOCAL										
2.75 (2.60 a 2.75)	2.50 - 3.00	H	I	J	J							
	3.00 - 4.30	I	I	I	J							
	4.30 - 6.00	G	H	I	J	J						
	6.00 - 9.00	C	G	H	I	J	J					
	9.00 - 13.00	F	G	H	I	J	J	J				
3.00 (2.90 a 3.20)	3.00 - 4.30	C	H	I	J	J						
	4.00 - 6.00	F	E	H	I	J	J					
	6.00 - 9.00	F	E	H	I	J	J	J				
	9.00 - 13.00	E	F	G	H	I	J	J	J			
	13.00 - 18.30	E	F	G	H	I	J	J	J	J		
3.70 (3.40 a 3.80)	3.00 - 4.30	G	H	I	J	J						
	4.00 - 6.00	F	G	H	I	J	J					
	6.00 - 9.00	F	G	H	I	J	J	J				
	9.00 - 13.00	E	F	G	H	I	J	J	J			
	13.00 - 18.30	E	F	G	H	I	J	J	J	J		
4.30 (4.00 a 4.30)	4.30 - 6.00	F	G	H	H	I	J	J				
	6.00 - 9.00	E	F	G	H	I	J	J	J			
	9.00 - 13.00	E	F	F	H	H	I	J	J	J		
	13.00 - 18.30	D	E	F	F	H	I	J	J	J		
	18.30 - 27.50	D	E	F	F	H	I	J	J	J	J	
5.20 (4.90 a 5.65)	4.00 - 6.00	E	F	G	H	I	J	J				
	6.00 - 9.00	E	F	F	G	H	I	J	J			
	9.00 - 13.00	D	E	F	F	H	H	I	J	J		
	13.00 - 18.30	D	E	F	F	H	H	I	J	J	J	
	18.30 - 35.00	D	E	F	F	H	H	I	J	J	J	J
6.00 (5.80 a 6.60)	6.00 - 9.00	D	E	F	G	H	I	J	J	J		
	9.00 - 13.00	D	E	E	F	G	H	I	J	J	J	
	13.00 - 18.30	D	D	E	E	F	G	H	I	J	J	J
	18.30 - 27.50	C	D	D	E	F	G	H	I	J	J	J
	27.50 - 43.00	C	D	D	E	F	F	H	H	I	J	J
7.30 (6.70 a 7.90)	6.00 - 9.00	D	E	E	F	G	H	I	J	J		
	9.00 - 13.00	C	D	F	F	G	H	I	J	J	J	
	13.00 - 18.30	C	D	D	E	F	G	H	I	J	J	J
	18.30 - 27.50	C	D	D	E	F	F	H	H	I	J	J
	27.50 - 43.00	C	D	D	E	F	F	H	H	I	J	J
9.00 (8.25 a 10.00)	9.00 - 13.00	C	D	D	E	F	G	H	I	J	J	J
	13.00 - 18.30	C	D	D	E	F	F	H	H	I	J	J
	18.30 - 27.50	B	C	C	D	E	F	G	H	I	J	J
	27.50 - 43.00	B	C	C	D	E	F	F	H	H	I	J
	43.00 - 55.00	B	C	C	D	E	F	F	H	H	I	J
11.00 (10.40 a 11.90)	9.00 - 13.00	B	C	D	E	F	H	I	J	J	J	J
	13.00 - 18.30	B	C	C	D	E	F	G	H	I	J	J
	18.30 - 35.00	A	C	C	D	E	F	G	H	H	I	J
	35.00 - 43.00	A	D	C	C	D	E	F	F	H	H	I
	43.00 - 60.00	A	D	C	C	D	E	F	F	H	H	I
12.80 (12.20 a 13.70)	13.00 - 18.30	A	B	C	C	D	E	F	G	H	I	J
	18.30 - 27.50	A	B	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	27.50 - 43.00	A	B	B	C	C	D	D	E	F	G	H
	43.00 - 60.00	A	A	B	C	D	D	D	E	F	G	H
	60.00 ó más	A	A	B	C	D	D	D	E	F	G	H
15.30 (14.00 a 16.80)	13.00 - 18.30	A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	18.30 - 27.50	A	A	A	B	C	C	D	D	E	F	H
	27.50 - 43.00	A	A	A	A	C	C	D	D	E	F	H
	43.00 - 60.00	A	A	A	A	C	C	D	D	E	F	H
	60.00 ó más	A	A	A	A	C	C	D	D	E	F	H
18.30 (17.00 a 20.45)	18.30 - 35.00	A	A	A	B	C	U	E	F	G	H	I
	35.00 - 43.00	A	A	A	B	C	C	D	D	E	F	H
	43.00 - 60.00	A	A	A	B	C	C	D	D	E	F	H
	60.00 ó más	A	A	A	B	C	C	D	D	E	F	H
	60.00 ó más	A	A	A	B	C	C	D	D	E	F	H
23.00 (20.75 a 27.50)	18.30 - 27.50	A	A	A	A	B	C	D	E	F	G	H
	27.50 - 43.00	A	A	A	A	B	C	D	E	F	F	H
	43.00 - 60.00	A	A	A	A	B	B	C	D	E	F	H
	60.00 ó más	A	A	A	A	B	B	C	D	E	F	H
	60.00 ó más	A	A	A	A	B	B	C	D	E	F	H

TABLA 3

Dimensiones de la oficina:

Largo del local = 9.20 m

Ancho del local = 3 m

Altura de montaje = 2.80 m

Con estos datos obtenemos el índice de cuarto en la tabla # 3, de la cual observamos que corresponde a la letra G.

4.- Determinación del factor de utilización.- El coeficiente de utilización es la relación que hay entre la luz total que llega sobre el plano de trabajo y la cantidad de luz emitida por la fuente luminosa, tomando en consideración las características de distribución y eficiencia de los equipos de alumbrado así como el acabado de los techos y paredes; para obtener su valor se obtiene con el valor del índice de cuarto.

Obteniendo el índice de cuarto, sólo nos falta conocer los factores de reflectancia del techo y paredes de la oficina.

Para obtener los valores de las reflectancias, es necesario conocer los colores del techo y pared; con estos colores se obtienen de tablas dichos valores (Tabla 4).

Si no se tienen datos sobre el color del techo y de las paredes se adoptan los siguientes valores. Techo = 50% y paredes = 30%, valores que emplearemos por desconocer los colores respectivos.

Naturalmente, el coeficiente de utilización siempre será menor que la unidad, puesto que se trata, en realidad, de la expresión de un rendimiento.

Con estos datos se busca en la tabla # 2 el valor del factor de utilización.

Por lo tanto, tenemos que C.U. = 0.43

5.- Determinación del factor de mantenimiento.- Para mantener en servicio el nivel de iluminación requerido, deben tomarse disposicio-

FACTORES DE REFLEXION DE TECHO Y PARED ( $\rho_r$ , $\rho_p$ )	
Techo de color blanco	$\rho_r = 80\%$
Techo de color muy claro	$\rho_r = 70\%$
Techo de color claro	$\rho_r = 50\%$
Techo de color medio	$\rho_r = 30\%$
Pared de color claro	$\rho_p = 50\%$
Pared de color medio	$\rho_p = 30\%$
Pared de color oscuro	$\rho_p = 10\%$

TABLA # 4

nes para comprender la limpieza de las lámparas en el local. Al depositarse polvo sobre las superficies que deben transmitir o reflejar el flujo luminoso, aumenta notablemente las pérdidas por absorción. - O sea que va sufriendo una reducción gradual en la eficiencia luminosa.

Por lo tanto, el factor de mantenimiento se ha clasificado en: bueno = 70%, medio = 60% y malo = 50%. Para este tipo de luminarias.

Una oficina es un local donde el ambiente debe ser limpio, le corresponde un factor de mantenimiento bueno o sea de 70%, valor que es recomendado por el fabricante del equipo.

6.- Factor de depreciación.- El factor de depreciación tiene en cuenta las pérdidas de rendimiento de la lámpara y luminaria, es decir, las lámparas o fuentes luminosas dan menos luz con el tiempo - por el solo hecho de transcurrir el tiempo los materiales se envejecen. Este factor es proporcionado por el fabricante.

#### A.1.3 Distribución de las luminarias.

Cálculo del número de luminarias.

$$\text{Número de lámparas} = \frac{\text{Nivel de Iluminación} \times \text{área}}{\text{Lumen por lámpara} \times \text{coeficiente de utilización} \times \text{Factor de mantenim.} \times \text{Factor de depreciación.}}$$

$$\text{Número de lámparas} = \frac{700 \times 27.6}{2800 \times 0.43 \times 0.70 \times 0.9} = 25.44$$

$$\text{Número de luminarias} = \frac{\text{Número de lámparas}}{\text{Lámparas/Luminaria}} = \frac{25.44}{2}$$

$$\text{Núm. lum.} = 12.7 \doteq 12$$

Distribución de los equipos de alumbrado.- La colocación de los equipos de alumbrado se hará de tal modo que se consiga una correcta uniformidad en la iluminación. Prácticamente esta colocación de equipos de alumbrado es simétrica (Figura 1).

$$\text{Area/Luminaria} = \frac{\text{Lamp/Lum.} \times \text{Lumen/lámp.} \times \text{C.U.} \times \text{F.M.} \times \text{F.D.}}{\text{Luxes}}$$

$$\text{Area/Luminaria} = \frac{2 \times 2800 \times 0.43 \times 0.7 \times 0.9}{700} = 2.18$$

$$\text{Espaciamiento máximo (e)} = \sqrt{\text{Area/lumi.}} = 1.47$$

Nota: El espaciamiento máximo recomendado es de:

$$1.2 \times Hm = 1.2 \times 2.8 = 3.36 \text{ m.}$$

$$\# \text{ de filas} = \frac{\text{Ancho}}{e} = \frac{3}{1.47} = 2.04 = 2$$

$$\# \text{ de hileras} = \frac{\text{Largo}}{e} = \frac{9.2}{1.45} = 6.3 = 6$$

$$\text{Total de luminarias} = 2 \times 6 = 12$$

$$\text{Watts totales} = 100 \times 12 = 1200 \text{ W}$$

Nota: Cada luminaria contiene 2 lámparas de 40 w que daría un total de 80W, pero debido a que existen pérdidas en el reactor o balastro se toma un 25% más para recompensar dicha pérdida, por lo tanto tenemos que 80 W + 25% = 100 W.

Para el diseño del alumbrado en los otros locales restantes se repite el procedimiento anterior, con las modificaciones pertinentes de cada caso.

#### A.1.4 Distribución de contactos.

En el proyecto se utilizarán contactos polarizados monofásicos - sencillos, con diferentes capacidades para operar a 127 Volts, y trifásicos también de diferentes capacidades para operar a 220 Volts.

Se determinó el número de contactos en función de las necesidades específicas de cada área, dentro del edificio terminal.

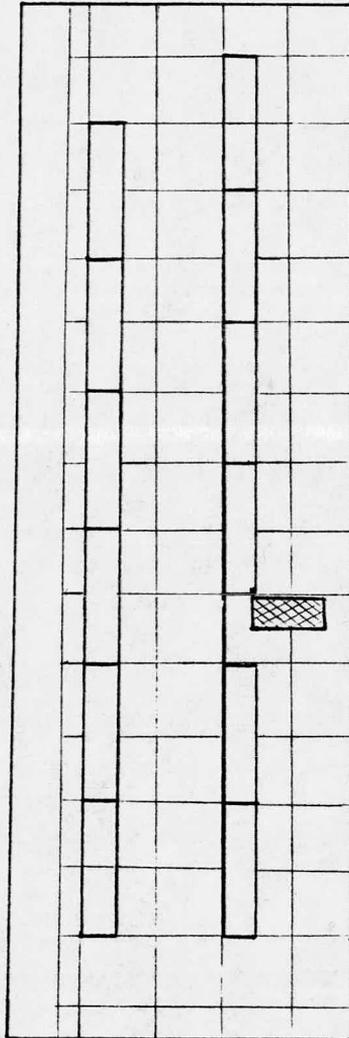


Figura 1

## A.2 Selección de Sistema Normal de Emergencia para Alumbra do y Fuerza.

Tomando en cuenta que la suspensión en el suministro de la energía eléctrica acarrearía trastornos graves, es necesario tener un servicio continuo de energía eléctrica. Por lo que es necesario disponer de un sistema de energía que tome la carga del sistema normal. Desde luego el sistema de emergencia no toma el 100% del sistema normal, para el sistema de emergencia se puede considerar un 30% del normal o sea que se considera el mínimo nivel de iluminación permisible. Esto se hace principalmente en lugares de acceso como son pasillos, escaleras, etc., esto es por si hay la necesidad de evacuar el edificio y haya la visibilidad necesaria para poder hacerlo sin riesgo alguno. Las señalizaciones, equipos especiales como gabinetes contra incendio, sistemas de seguridad y alarmas, requieren de servicio normal y de emergencia. En algunos casos el sistema de emergencia toma el 100% de la energía eléctrica del sistema normal como por ejemplo: Equipo de protección contra incendio, equipo de seguridad y el sistema hidroneumático el cual es el que abastece de agua a los sanitarios, en el aeropuerto; esto es importante ya que en éstos existe un gran flujo de personas y la falta de agua en estos locales acarrearía grandes trastornos. El sistema de emergencia se seleccionará de acuerdo al tipo de local.

## A.3 Selección de tableros de distribución y determinación de circuitos derivados.

Toda instalación eléctrica se rige por las Normas Técnicas para instalaciones eléctricas y cumpliendo con sus normas se obtiene:

- 1) Seguridad contra accidentes e incendios
- 2) Eficiencia de la instalación, garantizando una buena operación de los aparatos conectados a ella.

Circuitos Derivados.- Los circuitos derivados de la línea de ali

mentación, se hacen con el objeto de dividir la carga de ellos, para que al producirse un corto circuito en uno, no sean afectados en su operación los otros, se localizan en el tablero de distribución de alumbrado, donde toman su alimentación.

Se aconseja un sistema de circuitos separados para los receptáculos o tomas de corriente, con capacidad adecuada para su buen funcionamiento.

Determinada la capacidad que deben tener los circuitos derivados, se consideran las cargas por conectar, procurando que no sean mayores de 1500 Watts en los circuitos de alumbrado, tomando para ellas, un factor de demanda de 100%. En el caso de los circuitos derivados para contactos de aparatos pequeños, se asigna una capacidad de 200 Watts a cada uno (contactos).

Se fijó un factor de demanda del 100% a los circuitos derivados para contactos, con el fin de dejar sobrada su capacidad y considerando que el clima obliga a usar ventiladores eléctricos constantemente, para la comodidad y bienestar de los empleados.

Tableros de Distribución para Alumbrado.- Los tableros de distribución están contenidos en cajas o gabinetes metálicos con chapas que los protegen, están instalados en espachos hechos especialmente para esto. De tal manera que no estén a la vista del público y los sitios en que se encuentran localizados sean de fácil acceso al personal de mantenimiento, no expuestos a daños mecánicos, y retirados de materiales inflamables.

En los tableros de distribución para alumbrado la carga conectada a los circuitos derivados se distribuyó en las tres fases, con el fin de obtener el mínimo desbalanceo posible, ver ejemplo de tablero "A" (Tabla 5).

Seleccionamos un tablero de alumbrado con las siguientes características: Marca Square'd, Catálogo # NQD-14-42 o similar 3 fases,-

4 hilos, 220/127 Vca., con barra de Neutro para 14 circuitos derivados de 15 Amperes, además de un interruptor general de 3 x 75 Amperes.

#### A.4 Cálculo de Alimentadores de circuitos derivados y primarios.

Alimentadores.- Los conductores alimentadores se emplean para conducir la energía eléctrica desde el punto en que se genera hasta el punto en que se distribuye, para circuitos derivados de donde se distribuye a donde se utiliza.

Sabemos que todo conductor tiene una resistencia que evita fluya una corriente ilimitada y que produce una caída de tensión. Para cada carga dada, hay que seleccionar el tamaño del conductor que origine sólo una caída de tensión razonable (menor del 5% de tensión nominal).

Debemos de tomar en cuenta que en un conductor por el que pasa una corriente, se originará calor, el cual variará con el cuadrado de la corriente, razón por la que el Reglamento de Normas Técnicas para instalaciones eléctricas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, nos especifica una capacidad de corriente para cada conductor con diferentes aislamientos. Valores que se consideran de seguridad, bajo ciertas condiciones de trabajo.

Este desbalanceo entre fases menor de 5% es natural en teoría, ya que en la práctica dicho valor puede variar por causa ajena a quien hace los cálculos respectivos, sin embargo, se toma como punto de referencia para que las instalaciones eléctricas se realicen con más apego a los reglamentos en vigor; se calcula el desbalanceo máximo entre fases, tomando en cuenta el resultado obtenido al hacer operaciones numéricas con las fases que tienen mayor y menor carga, anotándose en un lugar bastante visible, de preferencia debajo del cuadro de cargas. (Ver tabla 5)

**ALIMENTADORES**

TABLERO "A" WATTS 18899  
 MARCA SQUARE'D CAT. NQO-20-42 VOLTS 220/127  
 OBRA \_\_\_\_\_ FASES 3Ø  
 HILOS 4

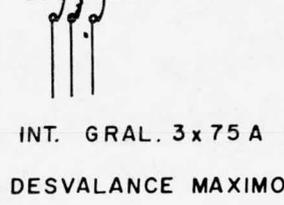
DISTANCIA 100 MTS  
 CONDUCTOR # 110 AWG ó MCM.  
 TUBO \_\_\_\_\_ m m. ø

No. de circuitos	CARGAS ELECTRICAS							WATTS TOTALES	INT. AMP.	N A B C	INT. AMP.	WATTS TOTALES	CARGAS ELECTRICAS							No. de circuitos
	200 W	600 W	2000 W	3000 W	150 W	2x40 W	2x40 W						4x40 W	200 W	600 W	2000 W	3000 W	150 W	2x40 W	
1								666.6	1x15		1x15	666.6								2
3			1					666.6	1x15		1x15	666.6								4
5								666.6	1x15		1x15	666.6								6
7								1000	1x15		1x15	1600	2	2						8
9				1				1000	1 15		1 15	1600	5	1						10
11								1000	1x15		1x15	1600				2	7			12
13							6	1200	1x15		1x15	1200					6			14
15							14	1400	1x15		1x15	900				6				16
17						2	6	1500	1x15		1x15	900				6				18
19								LIBRE			LIBRE									20

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

FECHA 5/IX/85

FORMULO C.E.I



INT. GRAL. 3x75 A  
 DESVALANCE MAXIMO

WATTS TOTALES  
 FASE A 6333  
 FASE B 6233  
 FASE C 6333

$$\frac{6333 - 6233}{6233} \times 100 = 1.58 \%$$

TABLA "5" DISTRIBUCION DE CARGA

Métodos de cálculo y criterios de diseño para la selección de los conductores del circuito.

Antes de desarrollar los métodos de cálculo para los circuitos de alumbrado y contactos estableceremos los métodos de cálculo para un circuito, derivados de cualquier tipo:

Procedimiento de cálculo de un circuito derivado.

- 1.- Conocimiento de las cargas eléctricas del circuito.
- 2.- Conocimiento de las características del sistema.
- 3.- Establecimiento de las fórmulas básicas.
- 4.- Cálculo de la corriente nominal del circuito.
- 5.- Aplicación de los factores de corrección de la corriente nominal.
- 6.- Selección del conductor apropiado.
- 7.- Revisión del conductor seleccionado por caída de tensión.
- 8.- Revisión del conductor seleccionado por corto circuito y sobrecarga.

1.- Conocimiento de las cargas eléctricas.

Este concepto implica el conocimiento de las características eléctricas principales de los luminarios y de las cargas que se conectarán a los contactos, tales como su potencia nominal, voltaje, frecuencia, número de fases y algunas características especiales tales como: Corriente de arranque, corriente de rotor bloqueado, condiciones de sobrecarga, factor de potencia y algunas otras características de los diferentes dispositivos que forman parte del circuito.

2.- Conocimiento de las características eléctricas del sistema.

Esto comprende el conocimiento de las características eléctricas de la fuente de alimentación tales como su potencia nominal, voltaje, frecuencia, número de fases, factor de potencia y desplazamiento angular, ya que de acuerdo a las cargas podemos tener circuitos monofási-

cos, bifásicos y trifásicos con sus diferentes variantes.

3.- Conocimiento de las características físicas de la instalación.

Este concepto estudia la forma en que están instalados los conductores que forman el circuito eléctrico; es decir implica el conocimiento de los diferentes tipos de canalización entre los que podemos mencionar bancos de ductos, charolas, etc., porque los conductores eléctricos tienen diferentes comportamientos de acuerdo al diferente tipo de instalación, ya que no es lo mismo el comportamiento de un conductor directamente enterrado, que un conductor en un banco de ductos ó un conductor al aire.

A los factores antes mencionados debe añadirse las condiciones de temperatura ambiente y factores de agrupamiento de los cuales hablaremos más adelante.

Una vez determinadas las características eléctricas podemos establecer el siguiente formulario.

FORMULAS ELECTRICAS USUALES

	CORRIENTE CONTINUA	CORRIENTE ALTERNA		
		Una fase	dos fases	Tres Fases
Amperez Conociendo H.P.	$\frac{H.P. \times 746}{E \times N}$	$\frac{H.P. \times 746}{E \times N \times f.p.}$	$\frac{H.P. \times 746}{E \times N \times f.p. \times 2}$	$\frac{H.P. \times 746}{\sqrt{3} \times E \times N \times f.p.}$
Amperes Conociendo KW	$\frac{K.W. \times 10000}{E}$	$\frac{K.W. \times 1000}{E \times f.p.}$	$\frac{K.W. \times 1000}{2 \times E \times f.p.}$	$\frac{K.W. \times 1000}{\sqrt{3} \times E \times f.p.}$
Amperes Conociendo KVA		$\frac{KVA \times 1000}{E}$	$\frac{KVA \times 1000}{2 \times E}$	$\frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} \times E}$
Factor de Potencia	Unitario	$\frac{W}{E \times 1}$	$\frac{W}{2 \times e \times 1}$	$\frac{W}{\sqrt{3} \times E \times 1}$

Sistema Monofásico (1 fase, 2 hilos)

Este es el sistema más utilizado para circuitos de alumbrado y contactos con capacidades de 15, 20 u 30 amperes, el cual tiene un hi

lo de fase y un hilo neutro (127 Vca).

#### Sistema Trifásico (3 fases 4 hilos)

Este es el sistema más popular de todos, ya que goza de grandes ventajas como son las de tener dos voltajes donde podemos conectar - cargas monofásicas 127 Vc.A. monofásicas 220 Vc.a. y trifásicas de - 220 Vc.a. además de tener un hilo de retorno o hilo neutro.

Este circuito de 3 fases, 4 hilos es el más ampliamente utilizado en instalaciones eléctricas, residenciales, comerciales o industriales, incluyendo sistemas de distribución de energía eléctrica; teniendo cuidado que el sistema se encuentre balanceado con una diferencia menor al 5%, es decir, que los 3 hilos de corriente tengan la misma carga.

Estos dos sistemas son los que emplearemos para nuestro propósito.

#### 4.- Cálculo de la corriente nominal del circuito.

Una vez determinado el circuito eléctrico basándonos en las fórmulas establecidas en el punto 3 y habiendo determinado la carga total del circuito, es decir, la suma en watts de las cargas parciales, podemos proceder al cálculo de la corriente nominal del mismo, haciendo uso de las fórmulas ya establecidas.

#### DATOS:

Carga por transportar en KW = 18.899 + 25% para efecto de seguridad = 23.624 KW.

Distancia = 100 m.

Voltaje = 220 Volts.

Factor de potencia = 0.85

Caída máxima = 2%

Circuito trifásico, 4 hilos

Por lo tanto:

$$I = \frac{23624}{1.732 \times 220 \times 0.85} = 72.94 \text{ Amperes.}$$

### 5.- Aplicación de los factores de corrección.

Para la selección de los conductores de los circuitos derivados- debemos de tener en cuenta que la corriente nominal de un circuito es afectado por el calor, ya que éste aumenta la resistencia interna del conductor dificultando el flujo de la corriente eléctrica a través - del mismo.

Por otro lado, debemos recordar que el calor "Q" obtenido al circular una corriente eléctrica por un conductor, es directamente proporcional al producto del cuadrado de la corriente por la resistencia del conductor (  $Q = RI^2$  ), y porque a la resistencia del conductor aumenta con la temperatura en lo que parece ser un circuito vicioso que por fortuna se llega a estabilizar en lo que se llama temperatura de operación del conductor.

$$R = R_0 + \alpha AT$$

En donde:

R = Resistencia del conductor a un valor determinado de temperatura.

R<sub>0</sub>= Resistencia a un valor determinado de temperatura.

$\alpha$  = Coeficiente para incremento de la resistencia.

AT= Incremento de temperatura.

" Corriente corregida ".

Esta corriente corregida se obtiene al afectar la corriente nominal por los factores que representan las dos fuentes de calor que - afectarían a los conductores eléctricos:

- a).- Temperatura ambiente.
- b).- Calor generado por otros conductores de acuerdo a la forma- en que están instalados dentro de su canalización.

Por lo anteriormente mencionado y como ya ha sido mencionado con anterioridad la selección o calibre de los conductores eléctricos deben seleccionarse con la ya definida corriente corregida que se obtien

ne con la siguiente fórmula:

$$I \text{ corregida} = \frac{I \text{ Nominal}}{F.C.T.A. \times F.C.A.}$$

Donde:

FCTA = Factor de corrección por temperatura ambiente.

FCA = Factor de corrección por agrupamiento.

Estos factores de corrección se obtienen de los catálogos de conductores que proporciona el fabricante.

Para nuestro propósito emplearemos el catálogo de conductores - Monterrey para baja tensión donde se indican los factores de corrección antes mencionados (Tabla 6 y 7).

NUMERO DE CABLES	FACTOR DE CORRECCION
3	1.00
4 - 6	0.80
7 - 9	0.70
10 - 24	0.70
25 - 42	0.60
43 ó más	0.50

**Nota:** Estos factores toman en cuenta, que haya diversas cargas en los cables.

**TABLA 6**

6.- Selección del conductor apropiado.

Una vez calculada la corriente corregida es necesario recurrir a las tablas de los fabricantes, de conductores eléctricos donde se selecciona el conductor cuyo calibre nos permita el paso de la corriente corregida en las diferentes condiciones de instalación (Ver tabla 7)

**CAPACIDAD DE CORRIENTE  
VINICON TIPO TWH 90°C**

CAL. AWG. O MCM	EN BANCO DE DUCTOS UN CONDUCTOR POR DUCTO						EN BANCO DE DUCTOS TRES CONDUCTORES POR DUCTO								EN EL AIRE FACTOR DE CARGA 30% A 100%		EN CON- DUIT TRES CA- BLES	ENTERRADO DIRECTAMENTE			
	3 DUCTOS		6 DUCTOS		9 DUCTOS		1 DUCTO		3 DUCTOS		6 DUCTOS		9 DUCTOS		MONO- FA- SICO	TRI- FA- SICO		MONO- FASICO		TRIPLEX	
	FACTOR DE CARGA EN %						FACTOR DE CARGA EN %											FACTOR DE CARGA EN %			
	75	100	75	100	75	100	75	100	75	100	75	100	75	100	75	100		75	100		
14	42	40	30	35	37	34	33	32	30	28	27	24	25	23	41	52	28	59	54	49	46
12	53	50	49	44	47	43	42	40	38	35	34	30	32	29	52	41	35	75	68	62	58
10	67	63	62	56	59	54	53	51	48	44	43	38	40	36	66	33	44	95	86	78	73
8	84	80	78	71	74	68	67	64	61	56	54	48	51	45	83	66	55	120	108	99	92
6	110	104	101	93	96	87	89	85	80	73	70	62	66	58	109	89	75	154	139	129	118
4	143	135	131	120	125	112	116	111	104	95	91	80	85	74	145	117	97	201	180	167	153
2	188	176	170	155	162	145	153	146	136	123	118	103	110	95	192	158	130	258	231	215	197
1/0	247	231	223	201	211	188	204	193	178	161	153	133	142	122	258	214	179	334	297	281	255
2/0	293	264	254	229	240	213	233	220	203	183	174	150	161	137	298	247	204	381	337	320	289
3/0	324	301	290	260	274	242	268	252	232	208	197	170	182	155	345	287	242	435	384	364	329
4/0	372	345	332	296	312	275	309	290	266	237	224	193	207	176	400	335	278	492	434	413	373
250	410	379	364	325	343	301	342	319	292	260	246	211	226	192	445	374	317	536	472	456	408
300	464	427	408	362	383	335	385	358	326	290	273	233	251	212	511	410	356	602	527	509	454
350	501	461	441	391	414	362	416	387	352	313	295	252	271	229	552	464	384	650	569	550	490
400	551	504	482	425	451	392	455	421	382	336	317	269	290	244	622	495	427	709	617	594	530
500	616	564	539	475	504	438	509	471	427	376	354	301	324	273	695	580	477	793	690	664	592
600	694	632	602	527	561	484	569	523	471	412	386	326	352	295	803	635	535	874	758	734	648
750	776	706	673	589	627	541	636	585	526	461	432	365	394	330	898	747	598	977	847	821	724
1000	909	823	783	682	727	625	731	670	600	523	490	412	446	372	1076	879	689	1336	980	937	825
1250	1020	920	874	759	810	694									1228			1257	1083		
1500	1116	1004	952	824	881	752									1367			1370	1176		

96

37

**FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA AMBIENTE**

10°C	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.26	1.26	1.07	1.07
15°C	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.22	1.22	1.04	1.04
20°C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.18	1.18	1.00	1.00
25°C	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1.14	1.14	0.96	0.96
30°C	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	1.10	1.10	0.93	0.93
35°C	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1.05	1.05	0.89	0.89
40°C	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	1.00	1.00	0.85	0.85
50°C	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.89	0.89	0.76	0.76

La selección de un conductor la podemos dividir en dos conceptos:

El primero de ellos trata de la selección del aislamiento que debe de estar siempre de acuerdo al voltaje del sistema para poder confinar la corriente eléctrica exclusivamente a la sección del conductor, - además de que el material del aislamiento debe de estar de acuerdo a - las condiciones del medio ambiente, donde se va a instalar, clasificando materiales apropiados para partes donde existe humedad, polvo, grasas, gasolinas, ácidos, etc. que pueden dañar el aislamiento de los conductores, llegando a tener conductores no propagadores de la llama y - resistente al fuego, como ya quedó establecido con anterioridad, uno de los principales enemigos de los conductores eléctricos es el calor, ya que éste, además de aumentar la resistencia del conductor y disminuir el paso de corriente puede afectar el nivel de aislamiento, es por esto, que de acuerdo a los reglamentos y normas establecidas tenemos conductores con diferentes calidades de aislamiento, tomando como referencia su temperatura de operación.

Por otro lado tenemos el segundo concepto, que trata de la selección del calibre, es decir del área de la sección transversal que - bien puede estar en  $\text{mm}^2$  o de acuerdo a la American Wire Gage, que clasifica a los conductores comerciales con las siglas AWG y MCM y que deben ser seleccionados de acuerdo a la corriente nominal del circuito ó bien de acuerdo a la corriente corregida.

De acuerdo a la tabla 7 necesitamos conductores calibre # 2 AWG, - que transportan en condiciones normales 118 amperes.

#### 7.- Revisión del conductor por caída de tensión.

Como ya hemos visto todos los conductores eléctricos tienen como propiedad intrínseca su resistencia, cuyo valor depende del material de que están hechos, de la sección transversal y de la longitud del conductor de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde:

R = Resistencia del conductor.

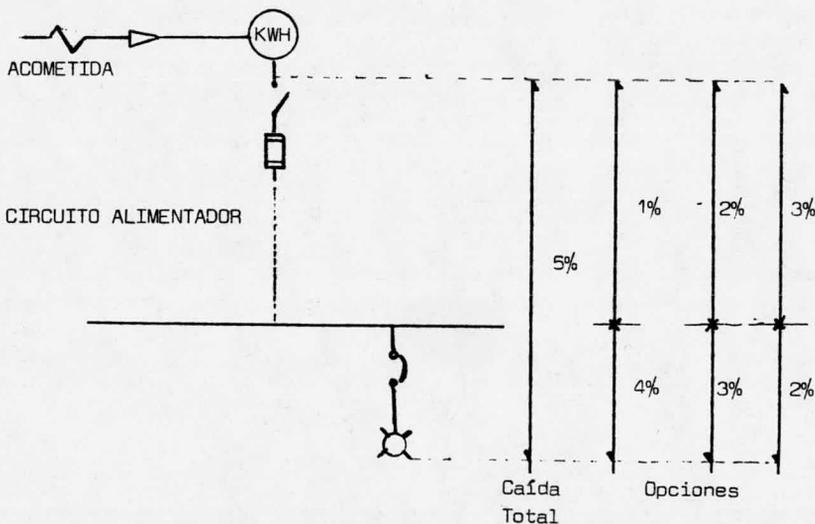
$\rho$  = Constante de resistividad del material empleado.

L = Longitud del conductor.

A = Area de la sección transversal.

Esta resistencia del circuito ocasiona una pérdida de voltaje - que puede llegar a límites no admisibles para los aparatos o dispositivos conectados a los circuitos derivados.

Para establecer los niveles de voltaje, haremos uso del reglamento establecido por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, que establece que la caída de tensión permisible desde el punto de entrega de CFE o CLFC hasta el último dispositivo del circuito derivado, que no debe de exceder del 5%, pudiendo establecerse de acuerdo con las combinaciones que se muestran en la figura siguiente:



De acuerdo a los sistemas que utilizaremos emplearemos las siguientes fórmulas:

Sistema monofásico ( 1Ø 2H ).

$$S = \frac{4LI}{E_n e\%}$$

Sistema Trifásico ( 3Ø 4H ).

$$S = \frac{2LI}{E_n e\%} = \frac{2\sqrt{3} LI}{E_f e\%}$$

Donde:

L = Longitud del circuito.

I = Corriente nominal.

E<sub>n</sub> = Tensión fase neutro.

E<sub>f</sub> = Tensión fase a fase.

S = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>.

e% Caída permisible.

Por lo tanto:

$$S = \frac{2 \times 1.732 \times 100 \times 72.94}{220 \times 2} = 57.47 \text{ mm}^2$$

Una sección transversal de 57.47 mm<sup>2</sup> de cobre corresponde a un conductor cableado calibre # 1/0 (que tiene 70.43 mm<sup>2</sup>) Ver tabla # 8.

Otra forma de obtener el calibre del alimentador es mediante la siguiente fórmula:

$$e = RI \text{ ----- (A)}$$

Si tomamos a e = 2% tenemos que 2% de 220 Volts = 4.4 Volts.

Se conocen:

e = 4.4 Volts.

I = 92.94 Amperes.

Sustituyendo en la ecuación (A).

4.4 = R x 92.94

R = 4.4/92.94 = 0.0473 ohms.

AREA PROMEDIO DE LOS CONDUCTORES ELECTRICOS DE COBRE SUAVE O RECOCIDO, CON AISLAMIENTO TH, THW y VINANEL 900.

	CALIBRE A.W.G. o M.C.M.	AREA DEL COBRE EN mm <sup>2</sup>	AREA TOTAL CON TODO Y AISLAMIENTO		AREA TOTAL DE ACUERDO AL CA- LIBRE Y AL # DE CONDUCTORES ELECTRICOS, PARA SELECCIONAR EL DIAMETRO DE LAS TUBERIAS.				
			mm <sup>2</sup>		2	3	4	5	6
ALAMBRES	14	2.08	8.30	16.6	24.9	33.2	41.50	49.8	
	12	3.30	10.64	21.8	31.9	42.5	53.20	63.84	
	10	5.27	13.99	27.9	41.9	55.9	69.95	83.94	
	8	8.35	25.7	51.4	77.1	102.8	128.5	154.2	
CABLES	14	2.66	9.51	19.0	28.5	38.04	47.55	57.06	
	12	4.23	12.32	24.6	36.9	49.28	61.60	73.92	
	10	6.83	16.40	32.8	39.2	65.60	82.00	98.40	
	8	10.81	29.70	59.4	89.1	118.80	148.5	178.2	
	6	12.00	49.26	98.5	147.7	197.04	246.3	295.5	
	4	27.24	65.61	131.2	196.8	262.40	328.0	393.6	
	2	43.24	89.42	178.8	268.7	357.70	447.1	536.5	
	0	70.43	143.99	287.9	431.9	575.96	719.9	863.9	
	00	88.91	169.72	339.4	509.1	678.88	848.6	1018.3	
	000	111.97	201.06	402.1	603.2	804.24	1005.3	1206.4	
	4/0	141.23	239.98	479.9	719.9	959.92	1199.9	1439.9	
	250	167.65	298.65	597.3	895.9	1194.5	1493.2	1791.2	
	300	201.06	343.07	686.1	1029	1372.3	1715.4	2058.4	
	400	268.51	430.05	860.1	1290	1720.2	2150.3	2580.3	
	500	334.91	514.72	1029.4	1544	2058.9	2573.4	3088.3	

TABLA # 8

Lo anterior indica que para tener una caída de tensión máxima de 4.4 volts, es necesario un conductor eléctrico que presente una resistencia de 0.0473 ohms en 100 mts, por lo tanto:

$$\begin{array}{l}
 100 \text{ m} \text{ ---- } 0.0473 \\
 1000 \text{ m} \text{ ---- } X \\
 X = \frac{1000 \times 0.0473}{100} = 0.473 \text{ ohm/Km.}
 \end{array}$$

Con este valor de 0.473 ohms/Km, se ve en la tabla # 9, a qué calibre corresponde, y si no se encuentra un valor exacto, se escoge el de un valor de resistencia ligeramente menor.

De la tabla se deduce que el conductor requerido para este caso es el calibre # 1/0.

El calibre # 1/0 tiene un valor de 0.32 ohms/Km. se comprueba la caída de tensión con este calibre para 100 mts.

$$\begin{array}{l}
 \text{Si } R = 0.32 \text{ ohms/Km.} \\
 R = 0.032 \text{ ohm/100 mts.}
 \end{array}$$

Por la siguiente razón:

$$\begin{array}{l}
 \text{Si } 0.32 \text{ ohms} \text{ ----- } 1000 \text{ m.} \\
 X \text{ ----- } 100 \text{ m.} \\
 X = 0.032 \text{ ohm/100 m.}
 \end{array}$$

Sust. valores en ecuación (A).

$$e = .032 \times 92.94 = 2.97 \text{ Volts.}$$

Como 2.97 Volts es menor que la caída de tensión máxima permisible (5% de 220 Volts = 11 Volts) el calibre # 1/0 arriba indicado se considera correcto.

#### 8.- Revisión del conductor por sobrecargas y corto circuito.

Cuando escogemos un circuito derivado seleccionamos la protección del circuito, cuando existe dudas o es un sistema de gran importancia debemos revisar los conductores por sobrecarga y corto circuito haciendo uso de las gráficas de los fabricantes.

RESISTENCIA OHMICA Y PESO DE LOS CONDUCTORES				
CALIBRE A.W.G. o M.C.M.	RESISTENCIA OHMS/KM A 20° C	PESO EN KG./KM. CON AISLAMIENTO		
		VINANEL THW	900 TW	VINANEL NYLON
ALAMBRES	14	8.28	27	23
	12	5.21	40	35
	10	3.28	56	50
	8	2.06	99	91
CABLES	14	8.45	30	25
	12	5.31	43	38
	10	3.35	63	60
	8	2.06	105	98
	6	1.29	170	148
	4	0.81	250	237
	2	0.51	380	362
	0	0.32	600	568
	00	0.26	740	706
	000	0.20	915	877
	4/0	0.16	1134	1094
	250	0.14	1352	1295
	300	0.11	1600	1539
	400	0.09	2095	2026
	500	0.07	2584	2509

TABLA # 9

DIAMETRO Y AREAS INTERIORES DE TUBOS CONDUIT Y DUCTOS CUADRADOS					
DIAMETROS NOMINALES		AREAS INTERIORES EN MM <sup>2</sup>			
		PARED DELGADA		PARED GRUESA	
PULGADAS	MM.	40%	100%	40%	100%
1/2	13	78	196	96	240
3/4	19	142	356	158	392
1	25	220	551	250	624
1 1/4	32	390	980	422	1056
1 1/2	38	532	1330	570	1424
2	51	874	2185	926	2316
2 1/2	64	—	—	1376	3440
3	76	—	—	2116	5290
4	102	—	—	3575	8938
2 1/2x2 1/2	65 x 65			1638	4096
4 x 4	100x100			4000	10000
6 x 6	150x150			9000	22500

TABLA # 10

El calibre del conductor a instalarse siempre será el calibre mayor obtenido en los cálculos ó en las revisiones por caída de tensión, sobrecarga y corto circuito, ya que de esta forma aseguramos que el conductor seleccionado cumpla con todos los requisitos establecidos.

#### A.5 Cálculo y Selección de canalizaciones.

##### Canalizaciones y tuberías.

Estos dos términos incluyen a todos los tipos de tuberías, ductos, charolas, trincheras, etc., que se utilizan para introducir, colocar o simplemente soportar los conductores eléctricos, para protegerlos contra esfuerzos mecánicos y medios ambientes desfavorables como son la humedad, corrosivos, oxidantes, explosivos, etc.

Una vez que se tiene conocimiento de los conductores eléctricos, sus calibres comerciales, tipos de aislamiento de uso común, capacidad de conducción de los conductores eléctricos dentro de los tubos conduit y a la intemperie, áreas utilizables dentro de los tubos conduit y ductos cuadrados, los coeficientes de corrección por temperatura y por agrupamiento, el factor de relleno, las caídas de tensión máxima permisibles, etc., se procede a indicar en la tabla No. 8, que nos marca el área transversal, promedio de los conductores eléctricos de los diferentes calibres, marcas y tipos de aislamiento, sólido o cables, para así, mediante la suma de las áreas parciales de los conductores, sean del mismo o diferente calibre, y en base al factor de relleno, calcular el diámetro de los tubos ó canalizaciones de acuerdo a los valores específicos de la tabla No. 10.

## B.- SUBESTACION ELECTRICA

### B.1 Generalidades.

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:

Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica (Voltaje, corriente, etc.), tipo C.A. a C.O., o bien conservarla - dentro de ciertas características.

En las instalaciones de corriente alterna destinadas al suministro de energía, son precisas las subestaciones eléctricas, ya sea para elevar el voltaje de las centrales de producción con el fin de - efectuar el transporte de la corriente en condiciones económicamente-costeable, y el de reducir o elevar la tensión al valor conveniente - para el funcionamiento del equipo que requiere de esta energía y que generalmente lo hacen con bajo voltaje.

### B.2 Estimación de la carga eléctrica.

Al determinar la carga total conectada a un sistema eléctrico, - es conveniente hacerlo considerando por separado las cargas de alumbrado y fuerza, combinando posteriormente ambos resultados para así - obtener la carga total conectada, la demanda total expresada en KVA, - determina la capacidad de la subestación, la cual depende de los factores de demanda y de diversidad del sistema.

El factor de demanda se define como la relación entre la demanda máxima y la carga conectada al sistema. En general, la naturaleza de la carga conectada en el aeropuerto se puede considerar como de alumbrado neto y de hecho fijamos para ello 100% como factor de demanda.

El factor de diversidad es la relación entre la suma de las demandas máximas individuales de las distintas cargas del sistema, durante un período y la demanda máxima de todo el sistema completo.

Un factor de diversidad unitario se aplica para proporcionar amplia capacidad al sistema y prever futuros aumentos de carga.

En el caso del sistema de aire acondicionado consideraremos los siguientes factores:

Factor de demanda = 1.0

Factor de diversidad = 1.0

Y para el sistema de fuerza motriz consideraremos los siguientes factores:

Factor de demanda = 0.7

Factor de diversidad = 1.1

La alimentación eléctrica del aeropuerto es tomada de la línea de 13.2 Kv. propiedad de la Comisión Federal de Electricidad. De esta línea se deriva un ramal en forma subterránea, por razones de seguridad, para alimentar la subestación de nuestro proyecto.

La subestación se localiza en un cuarto que para tal objeto fue construido en la parte norte del edificio.

Tipo de subestación.- Debido al incremento de las densidades de corriente y a la rápida expansión de los sistemas de distribución en alta tensión, hacen necesario el uso de subestaciones. Por sus pequeñas dimensiones, simple manejo mecánico y bajo costo las subestaciones compactas son el mejor sistema para la recepción y distribución de energía en alta tensión, las principales ventajas son:

- a) Mínimo espacio requerido.
- b) Sistema de construcción normalizado (modular), que simplifica la ingeniería de proyecto.
- c) Intercambio de unidades completas en caso de fallas o cambios de ingeniería.
- d) Confiabilidad como resultado de utilizar diseños previamente aprobados y probados.
- e) El ensamble, así como las pruebas de funcionamiento y de alta tensión se realizan en fábrica.

f) Protección del personal contra contactos accidentales con partes vivas.

g) Instalación rápida en el sitio de la obra.

h) Fácil transportación e instalación.

La energía eléctrica requerida, los sistemas de distribución, la tensión de servicio, las condiciones del lugar, la seguridad y el nivel de entrenamiento del personal, determinan el tipo de subestación a usarse.

Para poder realizar el desarrollo de un proyecto eléctrico con buenos resultados, deberemos considerar las necesidades de energía eléctrica que son las siguientes:

Alumbrado.- Constará de lámparas fluorescentes Slimline, marca - Novalux o similar, incandescente y contactos de servicio.

Aire acondicionado.- Las características eléctricas son:

Volts = 220/127

Fases = 3

Frecuencia = 60 Hz.

KVA instalados = 138 KVA

Para que un transformador esté bien definido, es necesario dar a conocer al menos los siguientes datos:

- Capacidad del transformador en KVA.
- Número de fases.
- Frecuencia de operación en c.p.s.
- Tensión primaria y conexión.
- Tensión secundaria y conexión.
- Número de derivaciones y % de cada una.
- Altura sobre el nivel a la cual operará el transformador.
- Sobreelevación de temperatura en operación continua.
- Sistema de enfriamiento.
- Clase de aislamiento en los devanados.

Capacidad del transformador.- Para seleccionar los KVA del transformador, es necesario efectuar un estudio adecuado del cual es la demanda máxima que se espera en nuestra instalación.

Los KVA del transformador son definidos por la siguiente expresión:

$$KVA_T = \text{Carga instalada} \frac{\text{Factor de demanda}}{\text{Factor de diversidad}}$$

El factor de diversidad es igual o mayor a la unidad.

El factor de demanda es igual o menor a la unidad.

De las cargas estimadas tenemos:

Aire acondicionado = 138 KVA.

Fuerza Motriz = 57 KVA.

Alumbrado y contactos = 140 + 10% (Futuro) = 154 KVA.

Demanda máxima alumbrado y contactos:

Carga instalada de alumbrado, tenemos un factor de demanda unitario y un factor de diversidad también unitario.

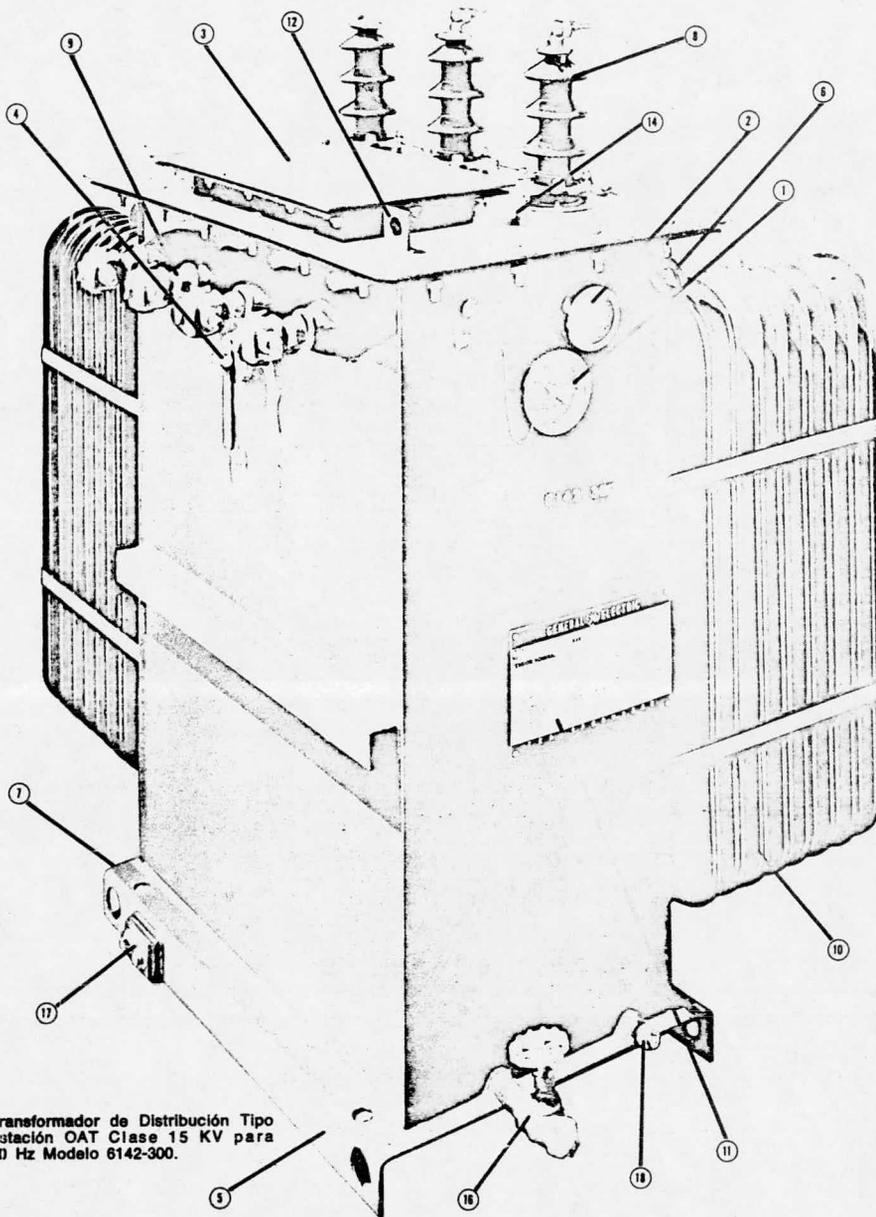
Demanda máxima alumbrado y contactos = 155 KVA

Demanda máxima aire acondicionado =  $138 \times \frac{1.0}{1.0} = 138$

Demanda máxima fuerza motriz =  $57 \times \frac{.7}{1} = 40$  KVA.

Con los datos anteriores, se ha tomado la decisión de instalar un transformador con las siguientes características:

- Número de fases: 3.
- Frecuencia: 60 c.p.s.
- Tensión primaria: 13200 Volts.
- Conexión primaria: Delta.
- Tensión secundaria: 220/127 Volts.
- Conexión secundaria: Estrella.
- Sobreelevación de temperatura: 65 °C sobre la del ambiente con una media de 30 °C y una máxima de 40 °C.
- Derivación a plena carga: 2 arriba, 2 abajo de 2.5% c/u.



Transformador de Distribución Tipo Estación OAT Clase 15 KV para 60 Hz Modelo 6142-300.

\*OAT — Enfriamiento Propio, Trifásico

\*\*OATI — Enfriamiento Propio con cajas de boquillas para acoplar a Tablero o Bus Ducto

		Aceite		Pyranol		Pyranol		Aceite	
		OAT*	OATI**	OAT*	OATI**	OAT*	OATI**	OAT*	OATI**
1	Termómetro con carátula de 110 mm. y escala 0°C-120°C	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Indicador magnético de nivel del aceite o Pyranol con carátula de 111 mm.	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Registro de mano en la cubierta	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Cambiador de derivaciones para operar exteriormente y desenergizado	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Base para rolar en cualquier sentido	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Ganchos para levantar el tanque	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Soporte para gato	X	X	X	X	X	X	X	X
8	Boquillas de alta tensión	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Boquillas de baja tensión	X	X	X	X	X	X	X	X
10	Panel de enfriamiento	X	X	X	X	X	X	X	X
11	Placa de datos	X	X	X	X	X	X	X	X
12	Orejas para levantar la tapa	X	X	X	X	X	X	X	X
13	Manómetro con carátula de 89 mm. rango de 101 lbs/pulg. de vacío y presión □	—	X	—	X	X	X	X	X
14	Cople de 25 mm. en la tapa o codo para llenado en el respaldo y filtro	X	X	X	X	—	X	—	X
15	Diafragma de alivio de presión □	—	—	X	X	—	—	X	X
16	Válvula de globo para drenaje 25 mm.	X	X	X	X	—	—	—	—
17	Terminal de tierra en la base del tanque	X	—	X	—	X	—	X	—
18	Cople tapón de muestreo	—	X	—	X	—	X	—	X
19	Válvula de presión y vacío □	—	—	—	—	X	—	X	—
20	Válvula 25 mm. □	—	—	—	—	X	—	X	—
21	Válvula de 51 mm. con tapón de muestreo □	—	—	—	—	X	X	—	—
22	Válvula de 51 mm. y tapón de muestreo en parte superior □	—	—	—	—	—	—	X	X
23	Placa de marca □	—	X	—	X	—	X	—	X

□ No se Muestra

- Altura de operación: 40 M.S.N.M.
- Tipo de enfriamiento: Aceite.
- Capacidad: 400 KVA.

### B.3 Cálculo de la capacidad de los fusibles de potencia.

Estudio del Corto-Circuito.- En los sistemas de potencia grandes y en las instalaciones industriales se deben determinar las corrientes de corto circuito en todos los puntos para seleccionar el equipo de protección y efectuar una coordinación en forma adecuada, para esto, es conveniente dar una pequeña introducción, con un enfoque hacia las aplicaciones industriales y en forma muy elemental.

Se entenderá por corto-circuito a una falla que se presenta en una instalación y que demanda una corriente excesiva denominada corriente de corto circuito. La falla puede ser de los tipos siguientes:

- a) De línea a tierra (fase a tierra).
- b) De línea a línea (fase a fase).
- c) De dos líneas a tierra (fase a fase a tierra).
- d) Trifásica (tres fases entre sí).

De estos tipos de falla la más probable de ocurrir es la denominada falla de línea a tierra y los métodos de análisis normalmente empleados son aquellos que tratan las redes en condiciones de asimetría debido a que a excepción de la falla trifásica, las otras son asimétricas.

Para cálculos preliminares se puede suponer que la falla es trifásica y entonces se simplifican mucho los cálculos, ya que la red se trata en condiciones de simetría y con una sola red en la que se representan las fuentes de corto circuito y los elementos limitados.

En el estudio de corto circuito se consideran básicamente dos tipos de elementos en la red: Las fuentes (elementos activos) y los elementos pasivos, son fuentes de corto circuito aquellos elementos que suministran corriente al punto de falla, que en general se puede de-

cir que son todas las máquinas toratorias es decir:

- Alternadores.
- Condensadores síncronos.
- Motores síncronos.
- Motores de inducción.

Son elementos pasivos las impedancias de los elementos del sistema bajo estudio, incluyendo la de las propias máquinas rotatorias.

El paso inicial para un estudio de corto circuito es disponer de un diagrama unifilar en donde se represente todos los elementos de la instalación que interesen para este estudio, como son: Generadores, Motores, Transformadores, Líneas, Cables Alimentadores y Tableros, según sea el caso.

En estos elementos se deben indicar sobre el diagrama o bien en tablas por separado sus características más importantes, como son:

- Potencia en KVA.
- Tensión de operación.
- Impedancia.

En el aspecto de impedancias se puede observar que éstas pueden estar dadas en ohms, ohms/kilómetro ó en por unidad que son formas muy comunes de encontrar esta información.

Corriente de corto circuito total.

La corriente de corto circuito total, generalmente tiene varias fuentes de energía como se ilustra en la figura 2, cuyas corrientes disminuyen con el tiempo debido a la reducción del flujo en la máquina, ocasionando que la corriente de corto circuito total también disminuya con el tiempo, siendo esta corriente mayor en el primer medio ciclo y disminuyendo ciclos después, esto sucede aunque se considere solamente la parte simétrica.

Debe observarse que la componente de corriente continua sigue decayendo con el tiempo, acentuándose la diferencia entre las magni-

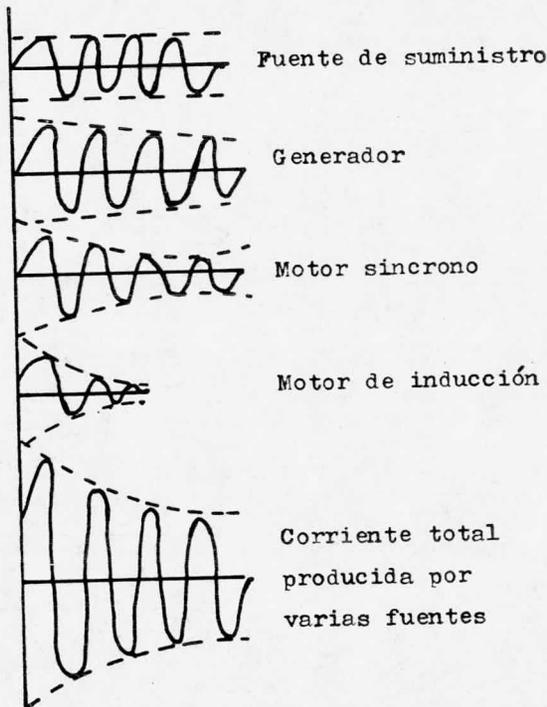


Fig. 2 Corriente de corto circuito de 4 fuentes individuales y la suma de ellas.

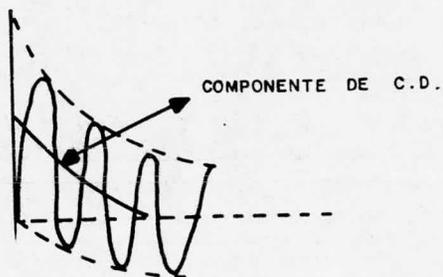


Fig. 3 Corriente de corto circuito asimétricas más la componente de C.D. para todas las fuentes de la figura 2.

tudes de corriente correspondiente al primer ciclo con las que corresponden a unos ciclos después. Fig. 3.

Entonces, como la intensidad de corto varía con el tiempo y la corriente del corto circuito lo hace paralelamente, todo procedimiento de cálculo debe permitir una determinación fácil de la intensidad instantánea después de la falla. El problema ha sido simplificado de tal manera que para determinar la intensidad simétrica eficaz, sólo es necesario dividir la tensión de fase a neutro entre la impedancia adecuada (equivalente), para determinar luego la corriente de corto circuito asimétrica sólo es necesario multiplicar el valor correspondiente a la corriente simétrica para un factor de multiplicación (desvío de onda).

En caso de subestaciones industriales se llega a obtener la máxima corriente de corto circuito cuando se produce la falla trifásica.

Esta corriente es mayor que si ocurriese una falla de fase a tierra, por lo que para la selección de los dispositivos de protección se considera una falla trifásica, tomando en cuenta además que la máxima corriente de corto circuito que circulará por un interruptor, un fusible o un arrancador, será cuando la falla ocurra en sus terminales.

De acuerdo a esto se calculará la corriente de C.C., suponiendo los siguientes puntos de falla. Ver figura 4.

Los estudios de c.c. como se ha indicado anteriormente tienen varios objetivos, y el método empleado para una solución en particular depende de varias cosas como son el tamaño del sistema bajo estudio, los resultados esperados y la aplicación de estos. En particular para las instalaciones industriales y los sistemas de distribución se pueden emplear métodos relativamente simples, como lo son el método porcentual, método por unidad y el ohmico, fáciles de aprender y rápidos en su concepción que permitan al Ingeniero o al diseñador resolver un

problema con cierto grado de aproximación sin emplear mucho tiempo y esfuerzo.

Un método que reúne algunas de las características anteriores es el conocido como método de los MVAs, método que utilizaremos para el cálculo de la corriente de c.c. con el objeto de seleccionar la capacidad interruptiva de los fusibles de potencia.

Para iniciar el cálculo de c.c. en este sistema, contamos con los siguientes parámetros:

- 1.- Capacidad interruptiva de entrada.
- 2.- Capacidad en KVA de los transformadores.
- 3.- Tensión de aplicación en las líneas de conducción.
- 4.- Valores de impedancias respectivas de los transformadores.
- 5.- Determinación de los valores en MVA de corto circuito con que coopera cada elemento.

#### B.4 Selección de protecciones en alta tensión.

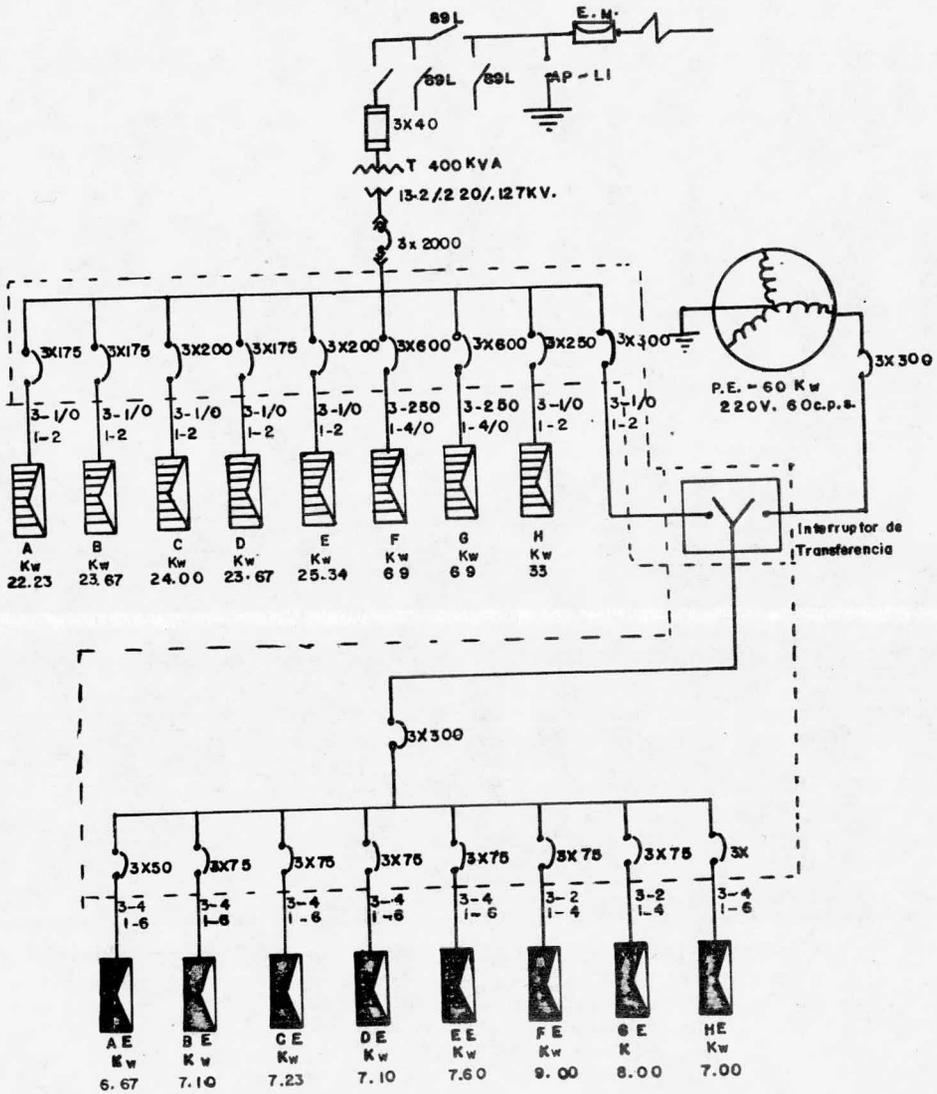
La protección por medio de fusibles se utiliza ampliamente en todo tipo de plantas e instalaciones eléctricas, tanto en alta como en baja tensión, ya que constituyen una forma muy económica y segura de protección, teniendo las siguientes ventajas sobre otros tipos de desconexión.

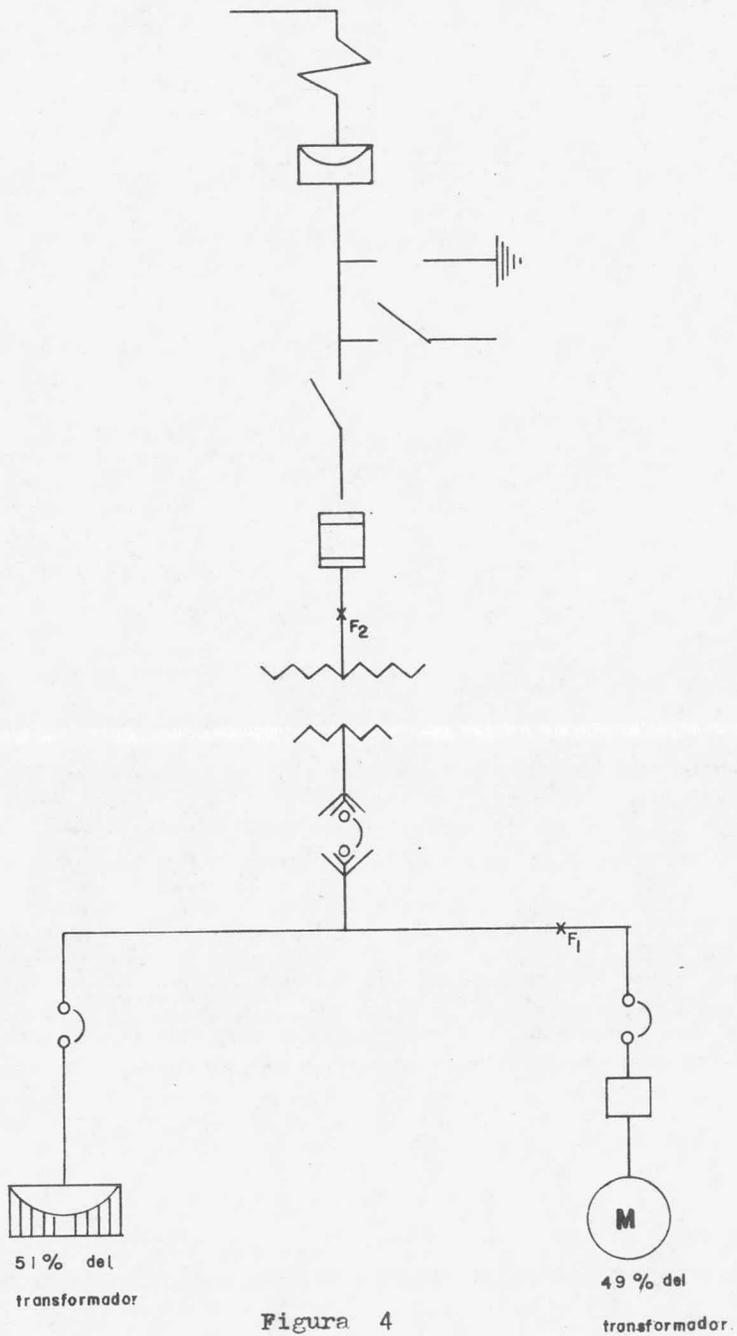
Limitan el valor de la corriente de corto circuito. Esto es de gran importancia para la seguridad y economía de la planta, ya que reduce los esfuerzos mecánicos y térmicos en los aisladores, conductores, soportes, barras y equipos eléctricos durante una falla.

La corriente de impacto de corto circuito nunca llega a alcanzarse debido a la rapidez con que opera el fusible, en tanto que siempre se alcanza cuando se utiliza protección por medio de interruptores.

Su alta capacidad interruptiva, mayor a la de cualquier otro medio de protección.

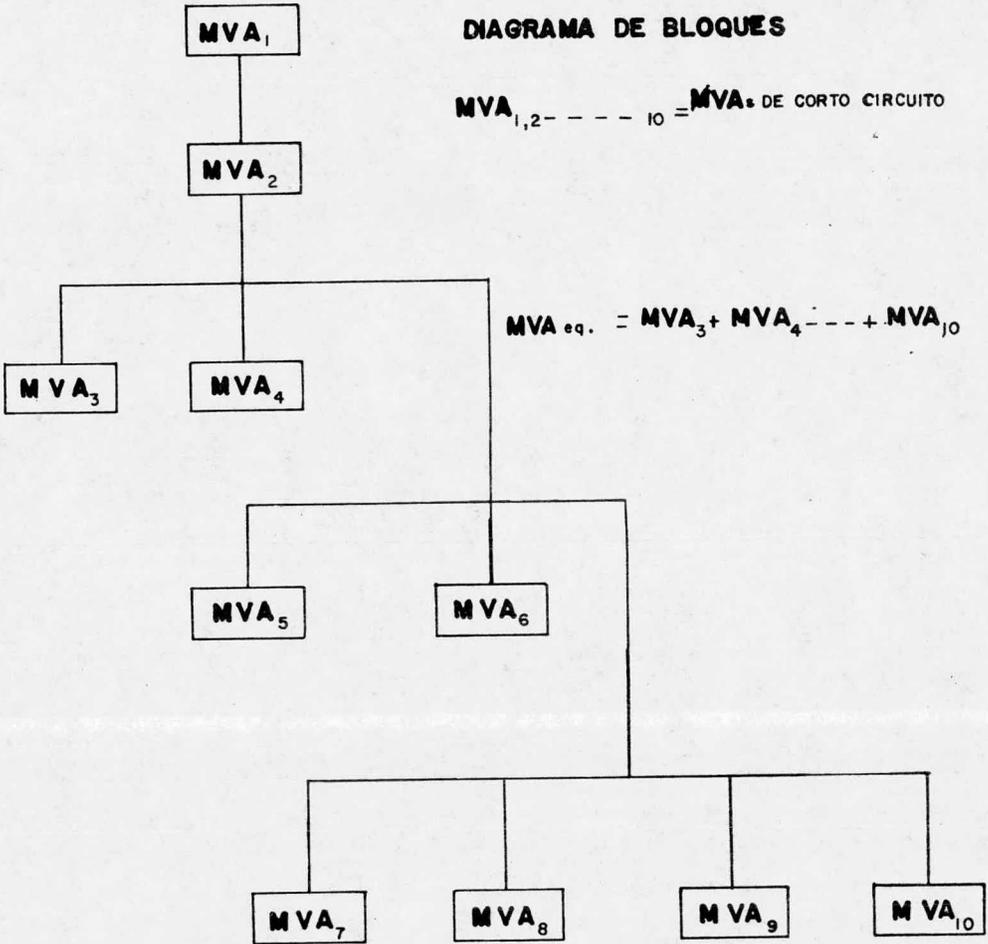
DIAGRAMA UNIFILAR





## DIAGRAMA DE BLOQUES

$$MVA_{1,2} \text{ --- } 10 = MVA_{10} \text{ DE CORTO CIRCUITO}$$



$$MVA_1 = 500$$

$$MVA_2 = MVA \text{ Trans.} / Z_{p.u.} \text{ Transf.}$$

$$MVA_3 = .300 / .045 = 6.66$$

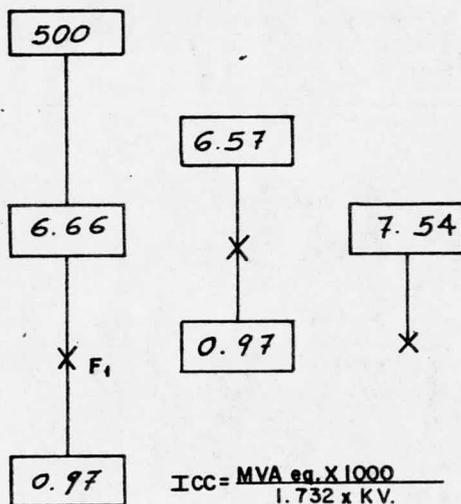
$$MVA_{eq.} = .194 / .2 = .97$$

**NOTA.** - Las reactancias para los motores las debe proporcionar el fabricante de no ser así, se recomienda tomarla entre 20% y 25%.

DIAGRAMA EQUIVALENTE



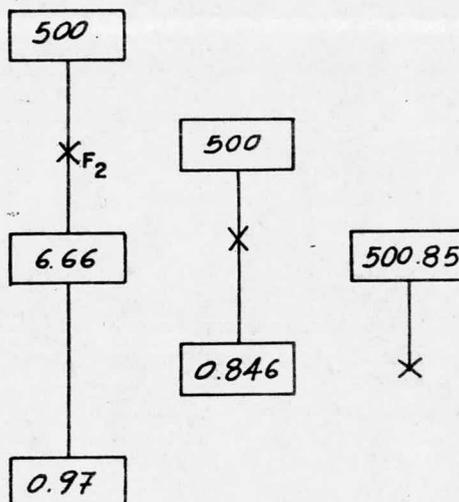
FALLA No. 1



$$I_{CC} = \frac{MVA_{eq} \times 1000}{1.732 \times KV.}$$

$$I_{CC} = \frac{7.54 \times 1000}{1.732 \times 22} = 19,787.95 \text{ AMPERES.}$$

FALLA No. 2



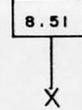
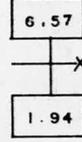
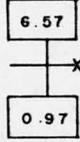
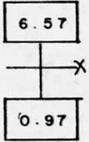
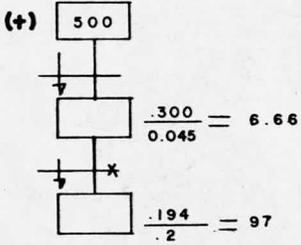
$$I_{CC} = \frac{500.85 \times 1000}{1.732 \times 13.2} = 21,907.15 \text{ AMPERES.}$$

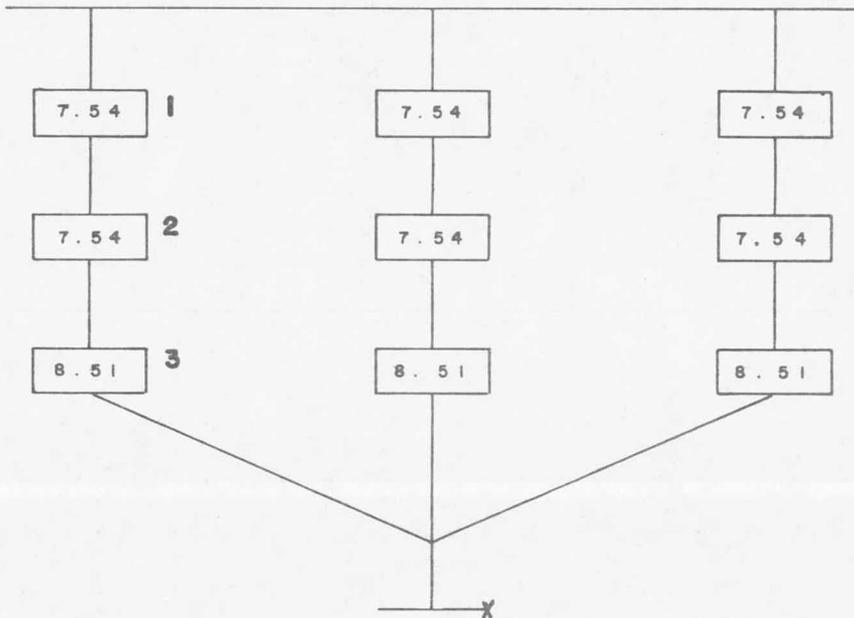
**PARA TRANSFORMADORES**

$MVA X_1 = MVA X_2 = MVA X_0$

**PARA MOTORES**

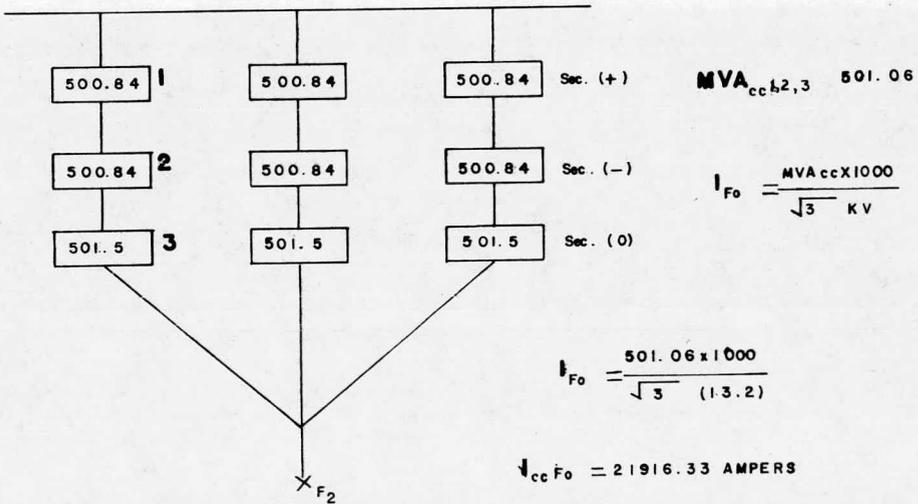
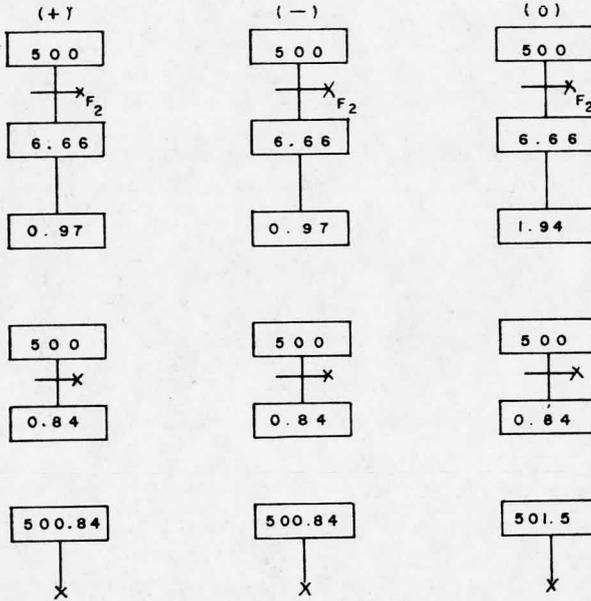
$MVA X_0 = MVA X_{1/2}$





$$MVA_t = 7.837$$

$$I_{Fo Z} = \frac{7.837 \times 1000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 20569.47 \text{ AMPERS}$$



A fin de poder seleccionar el fusible adecuado a las características y comportamiento del equipo o red a proteger, es necesario poder estimar la corriente limitadora y la calibración adecuada. Esto se logra con ayuda de gráficas proporcionadas por fabricantes de equipo Siemens, que enseguida se indican:

La gráfica número 1, que corresponde a las curvas de fusión de los fusibles, es la más utilizada en la práctica, pues representa la relación que existe entre el tiempo de fusión de los fusibles con respecto a la corriente de la red, tanto en condiciones normales como en el caso de sobrecorrientes y corto circuito. Está basada en la ecuación  $I^2 t = K$  (constante) ley que se aplica a las condiciones de calentamiento de un conductor durante intervalos muy cortos de tiempo, ya sea con corriente alterna o corriente directa.

La gráfica número 2, proporciona las corrientes limitadoras de los fusibles, graficadas contra las corrientes de corto circuito disponible de la red; la corriente limitadora de un fusible, es el valor pico de la corriente efectivamente cortada; en el caso de una prueba ésta se observa en el oscilograma; para el caso de una predefinición, puede tomarse de las gráficas de características de los fusibles.

El criterio a seguir para la selección de fusibles en alta tensión en nuestro caso lo hacemos de la siguiente manera:

- a) Calcular la corriente de carga del transformador de acuerdo a la capacidad instalada ( $I_c$ ).

Posteriormente con la relación 12 ( $I_c$ ) y haciendo la intersección en 0.1 segundos obtendremos el valor del fusible a instalar.

Ejemplo:

Seleccionar los fusibles de protección para un transformador de 400 KVA, 3 fases, 4 hilos, voltaje de operación: 13.2 Kv/220/127 Volts.

De acuerdo con la siguiente expresión:

$$I = \frac{\text{KVA}}{\sqrt{3} \text{ KV}}$$

$$I = \frac{400}{1.73 \times 13.2} = 17.49 \text{ Amperes}$$

$$I_c = 13.12 \text{ Amperes.}$$

De acuerdo con  $12(I_c)$

$$12 \times 13.12 = 209.88 \text{ Amperes.}$$

Intersectando este valor en 0.1 seg. nos damos cuenta que el valor calculado corresponde a la curva de 40 amperes, por lo que utilizaremos fusibles  $3 \times 40 \text{ Amp.}$

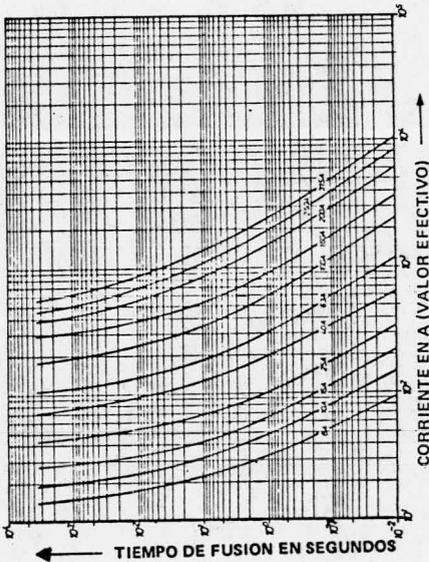


Diagrama 2: Curvas corriente-tiempo.

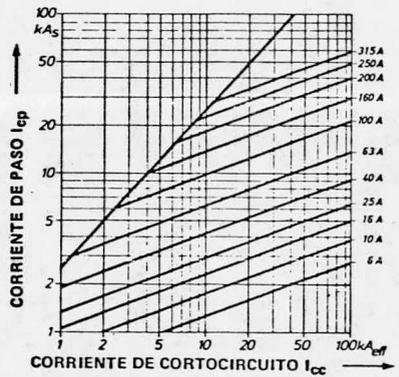


Diagrama 1: Paso de corriente.

### C A P I T U L O   I I I

Dispositivos de protección para una subestación eléctrica.

#### A. Coordinación de protecciones.

En el diseño de un sistema eléctrico ya sea con propósitos de - generación, transmisión, distribución o utilización se deben considerar básicamente tres aspectos: El primero y que resulta ser el más - común es su operación normal, lo que significa que no debe haber interrupción en el servicio o circuitos abiertos en el sistema, el segundo aspecto se refiere a la prevención de fallas, es decir, los - sistemas deben diseñarse para que técnica y económicamente se obtenga una solución óptima entre economía y confiabilidad para la prevención de fallas, el tercer aspecto es la reducción de los efectos de las fallas cuando se presentan éstas a pesar de las prevenciones, en este caso se deben considerar los elementos de protección adecuados para minimizar el número de circuitos que salgan de servicio en caso de falla procurando afectar al menor número de usuarios siempre. Los dispositivos que se utilizan para ello, son los fusibles y los interruptores que aíslan dichas anomalías en forma segura y logran, - con una mínima suspensión del servicio, que se dañen lo menos posible los circuitos y los equipos.

El objeto de un estudio de coordinación de protecciones es de - terminar las características, gamas y ajustes de los dispositivos de protección de sobrecorriente, que deben interrumpir las condiciones de falla con rapidez y proporcionar protección a equipos, aislandola carga que falló cuando se presenta un corto circuito o sobrecarga.

La coordinación de protecciones es un análisis tiempo-corriente de todas las curvas de los dispositivos en serie, desde el de utilización hasta la fuente; básicamente es una comparación del tiempo - que tarda en operar cada uno de ellos cuando circulan corrientes anoru

males.

La coordinación de protecciones debe cumplir con los siguientes requisitos:

1).- Cuando por una falla permanente se presenta una suspensión de servicio, la falla deberá restringirse a la mínima arca posible, -tratando que la suspensión sea del menor tiempo posible.

2).- El elemento de protección de menor capacidad deberá eliminar la falla, ya sea permanente o temporal antes que el elemento usado como respaldo interrumpa toda su zona de protección o bien opere a otros dispositivos de protección como restauradores o seccionalizadores sacando de servicio zonas mayores o aledañas.

A.1 Aplicación de dispositivos y elementos que intervienen en el estudio de coordinación de protecciones.

Los dispositivos de protección deben en primer lugar tener la -capacidad adecuada para interrumpir el circuito con seguridad bajo -cualquier condición anormal, de modo que dé protección al personal, -al sistema eléctrico y a los equipos de utilización. La selección -más acertada puede depender de varios factores, además de su costo -inicial.

Cuando se selecciona un dispositivo de protección de circuitos -con el propósito de instalarlo en un alimentador, cuya carga puede -aumentar en el futuro, es posible efectuar ahorros considerables al seleccionar inicialmente un dispositivo de protección lo suficiente -grande para manejar la carga final.

En este caso, los fusibles y dispositivos de disparo intercambiables representan una característica favorable en las diversas etapas del aumento de carga.

Otra consideración que debe hacerse cuando se requiere una gran economía y continuidad en los sistemas, es la conveniencia de aislar los circuitos uno de otros, de modo que cuando haya una falla en uno

de ellos el servicio pueda mantenerse en los alimentadores que están libres de fallas. La falta de dicha coordinación entre los elementos de protección de un sistema puede resultar una contra omisión.

El costo de una interrupción total normalmente significa una - pérdida total de la producción, por lo que parece lógico que este - costo sea mucho mayor que el equipo que localice la falla y la elimine del sistema, sin que las demás operaciones se interrumpan. Lo anterior indica lo adecuado y valioso que son los dispositivos de protección para el sistema de seguridad.

La selección final de los dispositivos dependerá también de sus características físicas.

Para la buena selección de los dispositivos de protección deben tomarse en cuenta las consideraciones siguientes:

- Flexibilidad.
- Confiabilidad.
- Robustez.
- Mantenimiento.
- Costo inicial.
- Capacidad.
- Vida útil.

Para la protección de transformadores la forma más sencilla es un fusible conectado entre el transformador y la acometida; si se decide hacer la protección por medio de fusibles, es conveniente considerar lo siguiente:

- a).- Voltaje nominal del sistema.
- b).- La corriente de carga nominal del transformador.
- c).- Tiempo de carga (Uniforme fluctuante ó sujeta a variaciones de voltaje).
- d).- La coordinación con otros dispositivos de protección.
- e).- Las KVA de corto circuito del sistema de alimentación.

Un fusible como dispositivo de protección es sensible sólo a la corriente que pasa por él. Cada tipo de fusible tiene su propia curva característica de fusión, algunos de las cuales son rápidas, - otras lentas, dependiendo de la aleación del material que estén hechos.

En los interruptores electromagnéticos en aire, los dispositivos de disparo pueden ser ajustados a valores requeridos de disparo por sobrecargas, por retraso de tiempo o instantáneo. Lo que permite que la calibración del interruptor pueda hacerse con exactitud de acuerdo con los requisitos de coordinación del circuito. Estos ajustes pueden hacerse en el lugar de la instalación.

Operación Selectiva.- Los interruptores electromagnéticos en aire pueden ser usados como interruptores de protección instalados en las cercanías de la carga, proporcionando por lo tanto, máxima continuidad en el servicio.

#### A.2 Límites de equipo de protección.

La función primaria de un dispositivo de protección es proteger los circuitos y equipos contra condiciones de operación normal, es esencial que los límites de protección de los equipos deben de estar establecidos para determinar los dispositivos de protección apropiados para su montaje.

La máxima corriente de carga, junto con la máxima corriente de corto circuito, determinan el límite superior e inferior dentro de la sensibilidad de corriente en la cual los circuitos de protección deben operar. Los límites de operación para equipos específicos están aún más restringidos por requerimientos de operación de equipos y en los Estados Unidos por "El Código Nacional Eléctrico" (N.E.C.) e "Instituto Americano Nacional Patron" (A.N.S.I.).

Es necesario conocer las características de operación, tanto las normales como las anormales, de todo el equipo del sistema. Esto

marca los límites dentro de los que deben operar las protecciones.

### A.3 Ajustes de dispositivos y Cálculo de límites de protección.

Los elementos principales que deben protegerse en el sistema, -  
son:

- 1.- Motores de inducción.
- 2.- Máquinas sincronas.
- 3.- Transformadores.
- 4.- Cables.

A continuación se mencionan algunas recomendaciones para obte -  
ner los límites de protección y los ajustes correspondientes.

#### I.- Motores de inducción.

Para graficar la curva de operación normal del motor se reco -  
mienda utilizar la regla:

Corriente a plena carga  $10 \text{ s} \leq t \leq 1000\text{s}$

Corriente a rotor blo -  
queado  $0.1\text{s} \leq t \leq 10\text{s}$

Corriente de magnetiza -  
ción  $0 \text{ s} \leq t \leq 0.1\text{s}$ .

#### Protección térmica de sobrecarga.

En ajustes de relevadores térmicos de sobrecarga es deseable per -  
mitir que el motor soporte sobre-cargas de un valor y duración que -  
no lo dañen. Una corriente nominal de disparo de 115 a 125% de la co -  
rriente a plena carga es comúnmente seleccionada.

#### Protección instantánea de sobrecorriente.

a) Fusibles.- El fusible seleccionado debe ser capaz de prote -  
ger el motor y su circuito de alimentación. Para seleccionar la capa -  
cidad del mismo se recomienda una gama de 150 a 400% de la corriente  
a plena carga del motor.

En caso de que un relevador térmico de sobrecarga y un fusible -  
protejan al motor, el fusible debe de operar antes que el relevador -  
a valores de corrientes diez veces mayor que el ajuste del relevador.

b) Relevadores.- Es requisito general para relevadores instantáneos que se ajustan tan bajo como sea posible.

Protección de sobrecorrientes con retardo de tiempo.

a) Fusibles.- Cuando se usan fusibles con retardo de tiempo se seleccionan con un valor de 110 a 125% de la corriente a plena carga del motor.

b) Relevadores.- El ajuste de este tipo de relevadores generalmente se hace dentro de la gama de 150 a 175% de la corriente a plena carga del motor.

### II Máquinas Sincronas.

Las partes que deben protegerse contra sobrecorrientes en una máquina sincrónica son similares a las de los motores de inducción, por lo tanto, los ajustes de los dispositivos de protección de estas máquinas son iguales a los de los motores de inducción.

### III. Transformadores.

Para encontrar los límites de protección de los transformadores es necesario graficar las condiciones normales de operación corriente a plena carga y corriente de magnetización del transformador y los daños del transformador, punto ANSI y punto NEC.

a). Corriente de Magnetización ( $I_m$ ).- Esta corriente, también conocida como INRUSH, puede alcanzar valores de 8 a 25 veces la corriente nominal para transformadores tipo seco. Con enfriamiento OA, FA y FOA, se utiliza un múltiplo que varía, dependiendo de la capacidad del transformador como se indica en el cuadro siguiente.

Capacidad	Múltiplo
Kva < 1500	8
1500 < Kva < 3750	10
3750 > Kva	12

El tiempo de duración de la corriente de magnetización, es invariablemente de 0.1 segundo.

b).- Punto ANSI.- El límite máximo de protección del transformador lo determina el punto ANSI, que establece las características que deben cumplir los devanados para soportar sin resultar dañados.

Los esfuerzos térmicos y dinámicos causados por un corto circuito son en sus terminales, considerando períodos definidos. Estos puntos, en múltiplos de corriente a plena carga ( $I_{pc}$ ), se resumen en el cuadro siguiente:

% Z del Transformador	Corriente simétrica RMS, en cualquier devanado.		Período de tiempo en segundos.
	Conexión $\Delta\Delta$ o $YY$	Conexión $\Delta Y$	
4 ó más	25x	14.5x	2.00
5	20x	16.6x	3.00
5.25	19x	11.0x	3.25
5.50	18.2x	10.5x	3.50
5.75	14.4x	10.1x	3.75
6.00	16.6x	9.6x	4.00
6.50	15.4x	8.9x	4.50
7.00	14.3x	8.3x	5.00
8.00	12.5x	7.3x	5.00

Sin recurrir al cuadro puede calcularse la corriente ANSI, con la ecuación siguiente:

Conexión  $\Delta\Delta$  ó  $YY$

$$I_{ansi} = \frac{100}{Z\%} \times I_{pc}$$

Conexión  $\Delta Y$

$$I_{ansi} = \frac{100}{Z\%} \times I_{pc} \times 0.58$$

Siempre y cuando  $4 < Z\% < 7$

El tiempo se encuentra:

$$4 < Z\% < 7 \quad T_{ansi} = Z\% - 2$$

$$7 \leq Z\% \quad \text{Tansi} = 5$$

$$4 \geq Z\% \quad \text{Tansi} = 2$$

c) Punto NEC.- Es el máximo ajuste recomendado por NEC (Nacional Electric Code). Para los dispositivos de protección contra sobrecorrientes de los transformadores y se grafica a partir de la escala de 1000 segundos.

El valor de la corriente NEC debe seleccionarse de acuerdo a las siguientes condiciones:

1.- Si no existe protección secundaria, los transformadores con un voltaje mayor a 600 V., en el primario requieren de un interruptor o bien de un fusible en el lado primario seleccionado a no más de 300 ó 150% de la corriente a plena carga, respectivamente.

2.- Si el transformador tiene protección en ambos lados los requisitos para calcular los límites de operación de los dispositivos dependen de la impedancia nominal del transformador, voltajes del primario y secundario y tipos de protecciones. Los múltiplos de  $I_{pc}$  se encuentran en el cuadro siguiente:

Máxima protección de sobrecorriente

Impedancia Nom. del transformador. Z%	Primario		Secundario		
	Arriba de 600 V		Arriba de 600 V		600 o menos
	Ajuste del Interru.	clasif. del fusib.	ajuste del interr.	clasifi. del fusib.	Ajuste del interrup. ajust. fusib.
$Z\% \leq 6$	6	3	3	1.50	2.5
$6 \leq Z\% \leq 10$	4	2	2.5	1.25	2.5

3.- Si el voltaje en el primario es igual o menor a 600V se necesita una protección primaria ajustada a no más de 125% de la corriente a plena carga cuando no se tiene protección secundaria y de 250% - cuando si se tiene, en cuyo caso la protección del secundario debe de estar ajustado a no más de 125%.

Cuando se utilizan relevadores combinados con interruptores de potencia en la protección del transformador, el disparo del elemento con retardo de tiempo es típicamente de 150 a 200% de la corriente a plena carga.

#### IV. Cables.

Todos los cables tienen cierta limitación de conducción de corriente, por esta razón debe protegerse contra corrientes de corto circuito y de sobre carga, para evitar así los peligros a elevación de temperatura que reduce su vida útil y frecuentemente causa de falla en los aislamientos.

La protección de los conductores se determina con base en su capacidad de conducción de corriente, que depende de las características térmicas y las de condiciones particulares de cada conductor. Los valores máximos tiempo-corriente que cada cable puede soportar sin sufrir daño se obtiene de curvas típicas proporcionadas por el fabricante.

La adecuada protección de conductores se logra cuando la característica del disparo de protección que dá abajó de la curva de daño del cable.

El valor de la corriente de falla en cualquier punto de un sistema está limitado por la impedancia de los circuitos y del equipo que se encuentra conectado entre la fuente o fuentes de las corrientes de falla y el punto de falla misma, y es independiente de la carga del sistema; sin embargo, la operación de un sistema hecho para poder manejar el incremento de la carga, puede no afectar a una parte del sistema en lo que a cargo se refiere, pero pueden hacer que los dispositivos de protección para esa parte del sistema se vean sujetos a un incremento en las corrientes de falla, si se trata de los motores, por ejemplo, por lo tanto hay que tener en cuenta que en cualquier ampliación de un sistema existe ó en un sistema nuevo se debe-

incluir un estudio de corto circuito y sobrecarga para tener un conocimiento adecuado de las corrientes de falla que se presentan y poder hacer así una selección adecuada de los dispositivos de protección - por corto circuito o seleccionar la capacidad interruptiva.

La protección contra fallas por medio de relevadores se puede - clasificar en dos grupos:

Uno que cubre a la protección primaria o sea aquel grupo de dispositivos de protección que deben de operar primero para aislar del - sistema al equipo en el cual se presenta la falla. Y en otro grupo que cubre a la protección de respaldo y que funciona sólomente cuando la protección primaria falla.

La selección y calibración adecuada de los dispositivos de pro - tección contra corto circuito o sobrecarga puede lograr una coordina - ción de ta forma que dé seguridad y continuidad en el servicio.

Los pasos recomendables para lograr lo anterior son los siguien - tes:

1.- Hacer el diagrama unifilar indicando en él los datos del - equipo principal: Transformadores, generadores, alimentadores, moto - res, reactores, etc., así como el equipo auxiliar tales como los re - levadores, fusibles, transformadores de corriente, conductores eléc - tricos, etc.

2.- En otro diagrama hacer un diagrama de impedancias y de más componentes que contribuyen al incremento de corriente de corto cir - cuito.

3.- Hacer un estudio de corto circuito para determinar las co - rrientes de falla máxima en cualquier punto del sistema.

4.- Calcular la corriente de carga máxima normal y de puesta en marcha bajo condiciones de operación en cada uno de los ramales del - sistema.

5.- Preparar una gráfica tiempo-corriente sobre el papel log-log.,

y en todas las corrientes estarán referidas a una base de voltaje común, pudiéndose utilizar un factor de multiplicación si se considera necesario.

6.- Trazar la curva tiempo-corriente para arranque y corriente-normal de motores grandes ó en su caso grupos de motores, teniendo en consideración la secuencia obligada de arranque o bien un grupo de motores pequeños que funcionan previamente al arranque de uno o más-motores grandes.

7.- Anotar la escala de derivaciones de cada uno de los relevadores de sobrecorriente en la parte superior de la gráfica de coordinación, según la relación del transformador de corriente.

8.- Indicar sobre el eje de corriente en la gráfica los valores de corto-circuito simétricos y asimétricos de los diferentes buses.

9.- El desarrollo de la coordinación se prosigue por el método de ensayos progresivos a partir de las curvas tiempo corriente de los distintos dispositivos de protección colocados en serie, comparándose por transparencias unos con otros.

Las comparaciones deben tomar en cuenta, no solamente las limitaciones impuestas por los dispositivos de protección, sino también aquellas provenientes de la corriente normal y máxima de las cargas, la corriente de corto circuito, la corriente de arranque de motores, especificaciones de la ANSI (Instituto Americano Nacional Patron) y del NEC (National Electrical Code), etc.

Los dispositivos de protección deberán operar dentro de estos límites, y al mismo tiempo, proporcionar coordinación selectiva con otros dispositivos de protección anterior y posterior en el ramal.

Preferiblemente hay que realizar un estudio de la coordinación para cada ramal que alimenta un CCM (Centro de Control de Motores), a un motor grande, trazar el diagrama unifilar del ramal que corresponde a un lado de curvas en cada gráfica, para ilustrar la corresponden

cia de dispositivos en forma inmediata, y cortar cada curva o banda - hasta la capacidad disponible de falla en el ramal.

Con excepción de relevadores de ciertas aplicaciones de fusibles, la coordinación selectiva generalmente se obtiene cuando las curvas - dejan un espacio franco entre ellos, o sea que no deben de existir zonas de superposición en una coordinación selectiva.

La recomendación mínima para interruptores de 8 ciclos de apertura, es dejar un margen de 0.4 segundos.

10.- Seleccionar los dispositivos de protección, con una gama - apropiada de ajuste para corresponder a las necesidades actuales y futuras del sistema.

El procedimiento general que se emplea para hacer el estudio de coordinación, para los dispositivos protectores del sistema, es considerando lo siguiente:

a).- Comprobación de las graduaciones preliminares:

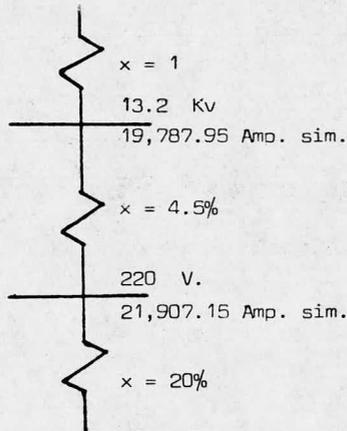
Trazado de las curvas usando como base un voltaje común para todas, trazando primero la curva correspondiente al dispositivo más cercano al sitio de falla. Permitir suficiente intervalo de la coordinación y trazar la curva correspondiente a los dispositivos restantes.

b).- Verificar la curva trazada para traslados de los dispositi- vos adyacentes, evitando traslapos.

c).- Revisar las graduaciones finales para determinar el funcio- namiento selectivo al presentarse la corriente máxima de falla.

Llevando lo anterior a la práctica, y tomando como ejemplo el caso más crítico para este trabajo, se tiene:

- 1).- Diagrama unifilar (Ver cap. II "Subestación eléctrica).
- 2).- Diagrama de impedancias.



Como un método conveniente de analizar los límites uno puede especificar los requerimientos como sigue:

Ajustes de protección en el sistema.

a) Ajuste de las protecciones del transformador.

$$13.2 \text{ Kv}/220\text{V}$$

$$Z = 4.5\%$$

Corriente nominal.

$$I_{nom} = \frac{Kva}{\sqrt{3} \text{ Kv}} = \frac{400}{1.73 \times 0.22} = 1049.7 \text{ Amps. a } 220 \text{ - Volts.}$$

$$= 13.122 \text{ Amp. a } 17.49 \text{ Kv.}$$

Estas se requieren para sacar la corriente de magnetización del transformador, así como el punto ANSI del mismo, estos puntos mencionados son llamados límites de equipo de protección y son establecidos bajo las normas del NEC. y ANSI.

1).- Corriente de magnetización ( $I_{mag}$ .)

$$I_{mag} = 8 \times I_{nom}.$$

$$= 8 \times 1049.7 = 8398.6 \text{ Amp. a } 0.1 \text{ seg. en } 220 \text{ - Volts.}$$

= 139.96 Amp. a 0.1 seg. en 13.2 Kv.

Punto ANSI del transformador.

Para el transformador con impedancia de 4.5% se permite 13 veces la corriente nominal por 2.5 segundos.

Punto ANSI =  $13 \times 787.32 = 13646.1$  Amp. a 2.5 seg. en 220 -  
Volts.

= 227.37 Amp. a 2.5 seg. en 13.2 -  
Kv.

b) En el lado primario del transformador:

Interruptor de fusible marca Siemens de 25 Amp. valor permitido para un fusible en el primario de un transformador con impedancia menor a 6% es de 3 veces la corriente nominal, según el NEC.

$I_p$  = Corriente máxima permitida del fusible.

Punto NEC. del primario =  $I_p = 3 \times 17.49 = 52.47$  Amp. a -  
13,2 Kv.

Por lo tanto, el fusible de 40 protege adecuadamente el transformador.

Para la selección del fusible se consideró lo siguiente:

- 1) Permitir la corriente de magnetización del transformador.
- 2) No revasar el punto ANSI del transformador.
- c) Interruptor principal del secundario.

El valor máximo permitido para un interruptor en el secundario del transformador con una impedancia menor de 6% es de 2.5 veces la corriente nominal del transformador.

$I_{mp}$  = valor máximo permitido del interruptor.

Punto NEC. del Sec.  $I_{mp} = 2.5 \times 1049.7 = 2624.25$  Amp.

De lo anterior se instalará un interruptor electromagnético marca F.P.E. tipo 50H-2, 3x2000 amp. con un marco de 3000 Amp. De acuerdo con el NEC.

De lo anterior se puede ver que el interruptor cumple con la norma, ya que su marco está por debajo del máximo permitido.

De acuerdo a los cálculos la máxima corriente de corto circuito en el bus de 220 Volts., del tablero para servicio normal es de:

$I_{cc} = 20569.4$  Amperes simétricos a 220 Volts.

Interruptor electromagnético marca F.P.E. tipo 50H-2 de 3000 Amp. de marco y 2000 Amp. nominales, con una unidad de disparo (relevador) tipo SD-3 y sensor tipo CSD-30.

Este interruptor tiene los siguientes rangos de ajuste:

1.- Tiempo largo. La calibración para disparo a tiempo es ajustable de 0.7 a 1.3 veces el rango del sensor, con ajustes intermedios de calibración en 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 y 1.3 veces la corriente del sensor.

El ajuste de tiempo largo es de: 2 segundos a 30 segundos con 10 puntos de calibración: 2, 4, 6, 8, 10, 14, 16, 22, 26 y 30 segundos.

2.- Tiempo corto. El disparo a tiempo corto es ajustable de 2 a 10 veces la corriente del sensor.

El ajuste de tiempo es de 0.11 a 0.45 segundos con puntos intermedios de calibración de: 0.11, 0.25, 0.33 y 0.45 segundos.

3.- Tiempo Instantáneo.- La calibración del disparo instantáneo es ajustable de 4 a 12 veces el valor indicado en la conexión del sensor con puntos a 4, 5, 6, 8, 10 y 12 veces dicho valor.

Para ajustar este interruptor se debe considerar los siguientes requisitos:

- a) Ser selectivo con los elementos protectores derivados.
- b) Tomar en cuenta la capacidad del bus, así como las corrientes críticas de tiempo corto en el mismo.
- c) No rebasar el límite NEC. del secundario del transformador, así como el punto de daño ANSI del mismo.

B.- Sistemas de Protección contra descargas atmosféricas -  
( Sistema de Pararrayos ).

B.1 Factores que gobiernan la decisión de su instalación.

La protección contra descargas atmosféricas constituye un tema de especial interés de todo de las instalaciones necesarias de una construcción.

Es del conocimiento de todos la capacidad destructiva que posee esta manifestación de la electricidad atmosférica que conocemos con el nombre de rayo. Sus aspectos externos han sido conocidos siempre por la humanidad, así como sus efectos directos e indirectos.

Las consecuencias de las descargas directas pueden ser graves: Daños a personas y cosas, incendios y destrucción, interrupciones en los servicios de energía eléctrica que pueden originar grandes peligros para la necesaria continuidad de estos servicios, así como un número más de consecuencias, en un instante pueden reducir o aún hacer desaparecer patrimonio de gran valor.

De acuerdo con el reglamento NFPA (National Fire Protection Association) los factores que gobiernan la decisión de instalar un sistema de pararrayos son los siguientes:

- 1).- Frecuencia de las tormentas en la zona.
- 2).- Valor y naturaleza del edificio y su contenido.
- 3).- Riesgos a las personas que lo ocupan.
- 4).- Exposición relativa.
- 5).- Pérdidas indirectas.

El análisis de la condición de riesgo a las personas, nos conduce a una conclusión inmediata, ya que sabemos que cualquier construcción siempre está ocupada por una cantidad mínima de personas que nos interesara proteger.

En la relación con la exposición relativa, cabe considerar un razonamiento físico elemental: El hecho de que las cargas electros

táticas se concentren en los cuerpos de proporciones geométricas agudas, tales como rodillas, puntas, etc., hace que los rayos tengan - preferencia por incidir en las alturas más notables. Towne de General Electric Co., nos proporciona datos de la variación de la probabilidad de incidencia con relación a la altura, con los cuales puede construirse una gráfica que nos indica esta variación (Gráfica 3).

La consideración de las pérdidas indirectas que a una descarga eléctrica puede ocasionar, es un factor cuya influencia en la decisión también es importante. El análisis del costo que puede representar una suspensión de los servicios prestados por la construcción estudiada, o de la producción perdida, hace obvia la decisión.

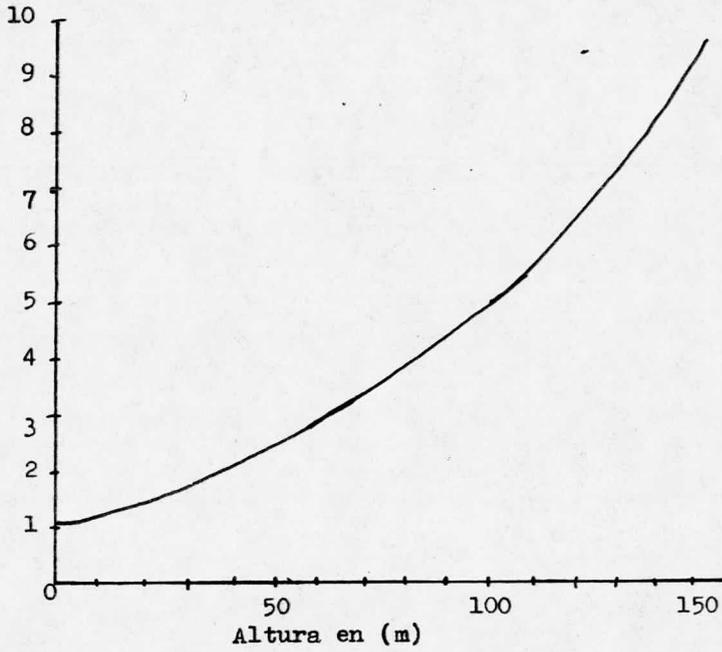
#### Análisis de los sistemas.

El principio fundamental de operación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas es proporcionar el medio para que una descarga pueda incidir con seguridad sobre una construcción y sea conducida en forma inofensiva hasta tierra, de manera que no origine daños durante su recorrido.

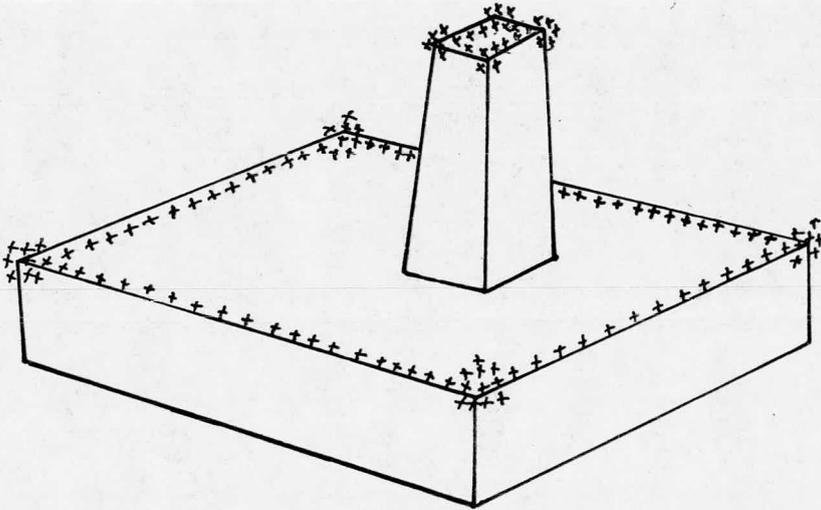
Las instalaciones de protección contra descargas atmosféricas difícilmente son "Activas", es decir que originen una protección para que no incida un rayo sobre una estructura, sin embargo, dado que la concentración de cargas que se logra en un pararrayos tiene un efecto ionizador de la atmósfera, esta ionización origina un efecto-dispersor de la carga, lo que disminuye el campo eléctrico.

Es pues de más importancia la protección "Pasiva", que se logra mediante la adopción de medios que reduzca a límites no peligrosos - las consecuencias de una descarga.

La técnica moderna de protección establece la colocación de conductores y puntas en los sitios en los que pueden iniciarse pilotos-secundarios, tales como esquinas y aristas de las azoteas, (Fig. 2), es necesario pues, no hablar de un "pararrayos", sino de la instala-



Grafica 3



Grafica 2

ción de un sistema de pararrayos convenientemente estudiado para proporcionar protección a cada estructura en particular.

Un sistema de pararrayos, está integrado por 3 elementos fundamentales: (Fig. 4).

1.- Un elemento receptor de la descarga que lo constituyen las puntas de protección y los cables colocados estratégicamente en las partes de la estructura que pueden recibir una descarga (Fig. 4A).

2.- Circuito a tierra, formado por los conductores que tienen como misión transportar a tierra la corriente de las descargas, siguen un recorrido perfectamente determinado y de baja resistencia eléctrica pasando normalmente por la parte exterior del edificio. (Fig. 4B).

3.- Electrodo de tierra, llamados también dispersores de tierra, los que proveen de un contacto íntimo del sistema con el terreno, facilitando la dispersión de la corriente en el terreno propiamente dicho. (Fig. 4C).

Existen en la actualidad diversos procedimientos para el cálculo y diseño de estos dispositivos, así como procedimientos de medición directa de la resistencia. Se han desarrollado también algunos productos químicos que pueden usarse como aditivos en los electrodos y de esta manera lograr abatir la resistencia a tierra.

De acuerdo a la diferente organización de los elementos anteriores se conocen actualmente los siguientes tipos de pararrayos:

Pararrayos de Franklin.

Jaula de Faraday.

Pararrayos Radiactivos.

## B.2 Criterio de diseño.

De la información que nos proporcionan las normas NFPA (National Fire Protection Association) y ASA (American Standard Association), puede concluirse los siguientes criterios sobre los más importantes factores a decir en el desarrollo del proyecto de un sistema de pro

tección, así como en sus especificaciones. Estos factores son:

- 1.- Ubicación de las puntas.
- 2.- Trayectorias de conductores.
- 3.- Conexiones a tierra.

Distribución de pararrayos y electrodos a tierra.

Utilizaremos puntas macizas de cobre cromado de 30 cm. para este tipo de puntas las Normas IEEE (Instituto de Ingenieros Electricistas y Electronica) y NFPA (National Fire Protection Association) especifican que el espaciamiento sea de 6 Mts.

Si sabemos que el perimetro es igual a 218m tendremos que el número de pararrayos será de 38 (Ver fig. 4).

Para las bajadas se consideran 2 bajadas en los primeros 70 m de Perimetro y 1 bajada por 30 m de perimetro que se exceda (ó fracción)

$$\text{Por lo tanto, } P = 2(33+76) = 218$$

$$70 \text{ --- } 2 \quad 218 - 70 = 148$$

$$\begin{array}{r} 4.9 \\ 30/ \overline{148} \\ 280 \\ 10 \end{array}$$

Por lo tanto, el número de bajadas será de 7.

Selección del conductor para la malla a tierra.

$$S = 8.7 \times I_{cc} \times \sqrt{t}$$

$$= 8.7 \times 21907 \times \sqrt{0.1} = 60270 \text{ CM}$$

$$1 \text{ mm}^2 \text{ --- } 1970$$

$$X \text{ --- } 60270 \quad X = 30.59 \text{ mm}^2$$

Lo que indica usar en la malla de tierra conductor desnudo calibre # 2 AWG.

La resistencia de tierra se puede expresar en forma general, como:

$$R_T = \frac{0.611 \rho}{\sqrt{A}}$$

Durante la realización de un proyecto es frecuente no conocer la resistividad del terreno en donde se construye, por lo que es práctica

común en estos casos tomar una resistencia de 100  $\Omega$ -m con lo que la resistencia de tierra será:

$$R_T = \frac{61.17}{(2508)^{1/2}} = 1.22$$

Para obtener el número de electrodos utilizaremos la siguiente expresión:

$$n = 35/R_T \quad \text{ó} \quad n = 0.572 A^{1/2}$$

$$n = 35/1.22 = 28.7 \quad \text{ó} \quad n = 0.572 (2508)^{1/2} = 28.65$$

Por lo que se instalarán 29 electrodos (Ver. Fig. 4).

El número de varillas se determinó en función del área, para asegurar una resistencia de red de 10 ohms como máximo, marcada por las normas técnicas para instalación eléctrica.

En la práctica si la resistencia excede este valor se reducirá - introduciendo más electrodos a tierra.

La tensión de contacto calculada es:

$$E_c = \frac{165 + 0.25 (10)}{\sqrt{1.2}} = 153 \text{ Volts.}$$

$$E_p = \frac{165 + 10}{\sqrt{1.2}} = 159.7 \text{ Volts.}$$

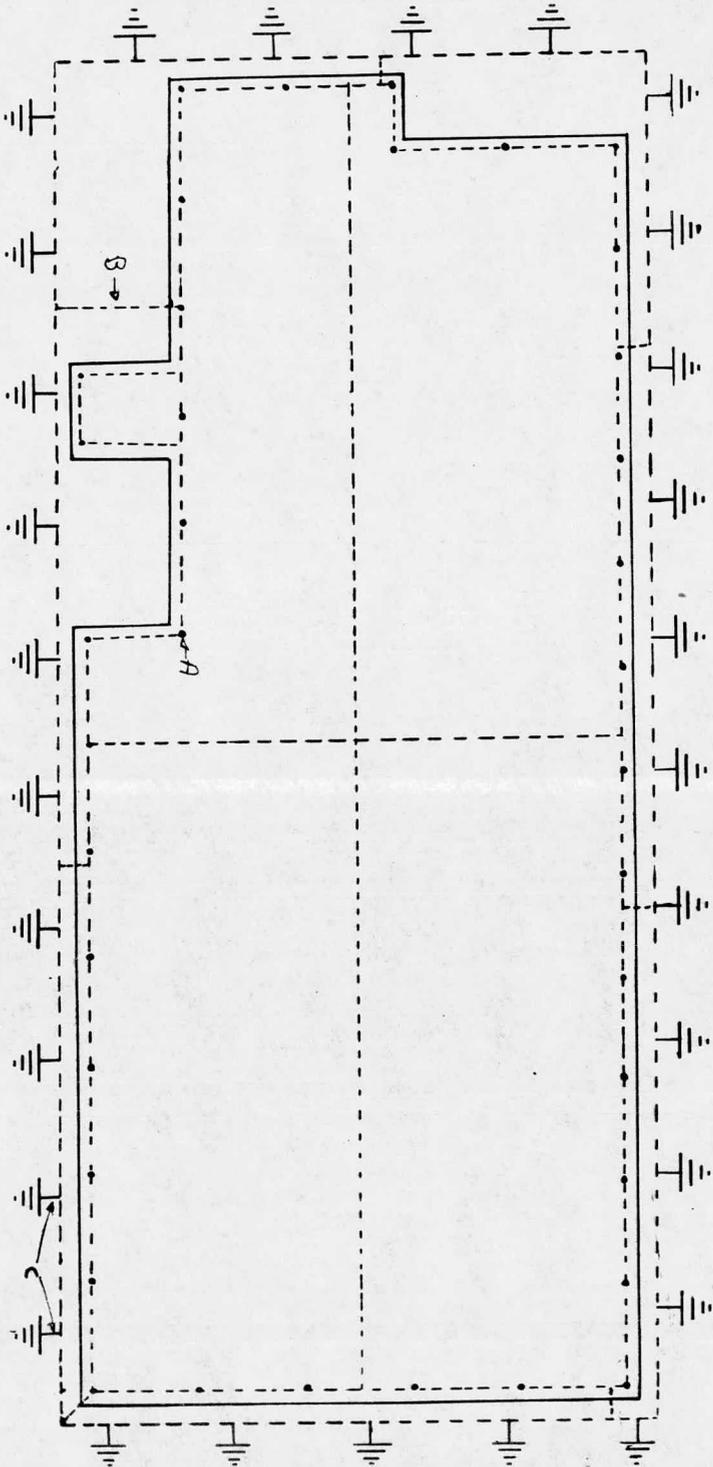


Fig. 4  
86

C Sistema de tierra.

Objetivos del sistema de tierras.

Cualquier sistema de tierras está diseñado bajo las siguientes -  
razones:

- 1.- Fijar el nivel de potencial de todas las masas metálicas con respecto al suelo.
- 2.- Proteger las máquinas y los aparatos de las sobretensiones.
- 3.- Asegurar la protección del personal en lo que se refiere a - los peligros de la corriente eléctrica.

Es la función del sistema limitar los Voltajes y corrientes que resulten peligrosos, durante condiciones de falla, éstos se pueden - presentar en la propia instalación eléctrica, como conductos, cargas de conexiones, o el mismo equipo eléctrico, así también sobre las superficies metálicas como estructura de edificios, puertas, tuberías, - etc., y en general materiales y terrenos que ofrezcan suficiente conductividad a la corriente y voltajes de falla.

Las tensiones y corrientes peligrosas que puede llegar a tener - una superficie conductora, no es provocada siempre y necesariamente - por una falla, sino que su origen puede ser también por inducción - electromagnética o en otros por fenómenos electrostáticos y hasta me - tereológicos.

Por esta razón todo material conductor expuesto a convertirse en peligroso debe conectarse a tierra.

Definición de sistema de tierra de protección.

El sistema de tierras de protección, es aquel que tiene como - principal función, mantener seguro de tensiones y corrientes peligrosas a todo el equipo, instalación, y superficies metálicas, que puede estar en contacto con el personal y que debe exponerse a ser dañado - por sobretensiones que afectan su contenido interno o funcionamiento.

C. 1 Diferencias de potencial tolerables: De paso, de toque y voltajes transferidos.

Pruebas realizadas demostraron que el 99.5% de los humanos podrían soportar sin "Fibrilación" corrientes determinadas por la siguiente ecuación en una duración de 3 segundos.

$$I_k^2 t = 0.027$$

de donde:  $I_k = 0.166 / \sqrt{t}$  Amperes (I)

$I_k$  = Corrientes RMS a través del cuerpo en A.

t = Duración en segundos del shock.

0.027 = Valor empírico constante.

Con el valor establecido de la corriente tolerable por el cuerpo humano (Ver tabla A y B), ecuación (I), y las constantes apropiadas del circuito es posible calcular la diferencia de potencial tolerable entre posibles puntos de contacto.

TABLA " A "

RESISTENCIA DEL CUERPO HUMANO.

Resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Clase de resistencia	Valor de la Resistencia
Piel seca.....	100000 a 600000 Ohmios.
Piel húmeda.....	1 000 Ohmios.
Interior del cuerpo -de manos a los pies-	4 00 a 600 Ohmios.
De una a otra oreja (aprox).....	100 Ohmios.

TABLA " B "

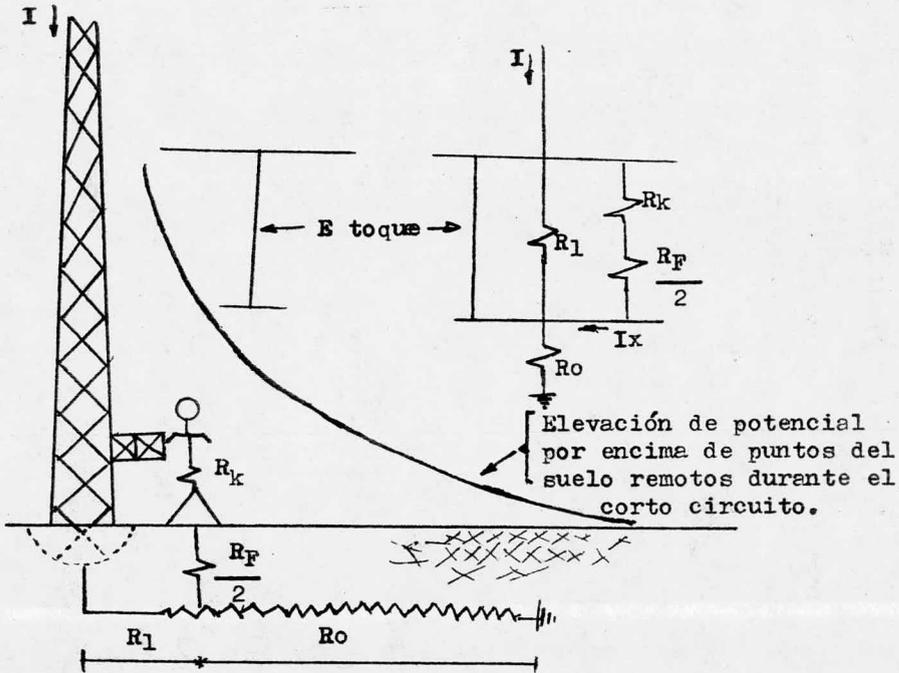
VALORES DE CORRIENTE QUE AFECTA  
EL CUERPO HUMANO

Corrientes de intensidades no peligrosas.	1 Miliamperio o menos	No produce ninguna sensación ni mal efecto.
	1 a 8 Miliamperios:	Produce choque indoloro y el individuo puede soltar los conductores, porque no pierde el control de los músculos.
	8 a 15 Miliamperios:	Produce choque doloroso, pero sin pérdida del control muscular.
	15 a 20 Miliamperios	Choques dolorosos con pérdida del control de los músculos afectados. El individuo no puede soltar los conductores.
Corrientes muy peligrosas.	20 a 50 Miliamperios:	Choque doloroso, acompañado de fuertes contracciones musculares y dificultad para respirar.
	50 a 100 Miliamperios:	Puede causar fibrilación ventricular, o sea pérdida de coordinación de las contracciones del corazón. Si ocurre, no tiene remedio y mata instantáneamente.
	100 a 200 Miliamperios	Mata siempre a la víctima por fibrilación ventricular.
	200 a más Miliamperios	Produce quemaduras graves y fuertes contracciones musculares que oprimen el corazón y lo paralizan durante el choque (Esta circunstancia evita la fibrilación ventricular).



Figura 6

Potenciales de toque cercanos a una estructura conectada a tierra



ferencia de potencial a tierra interceptada sería sólo la que pudiera ocurrir sobre una distancia igual al alcance máximo horizontal del brazo, considerada en promedio de un metro.

Elevación de potencial por encima de puntos remotos de suelo durante el corto circuito.

Alambre neutro o de comunicaciones conectado a tierra en un punto remoto.

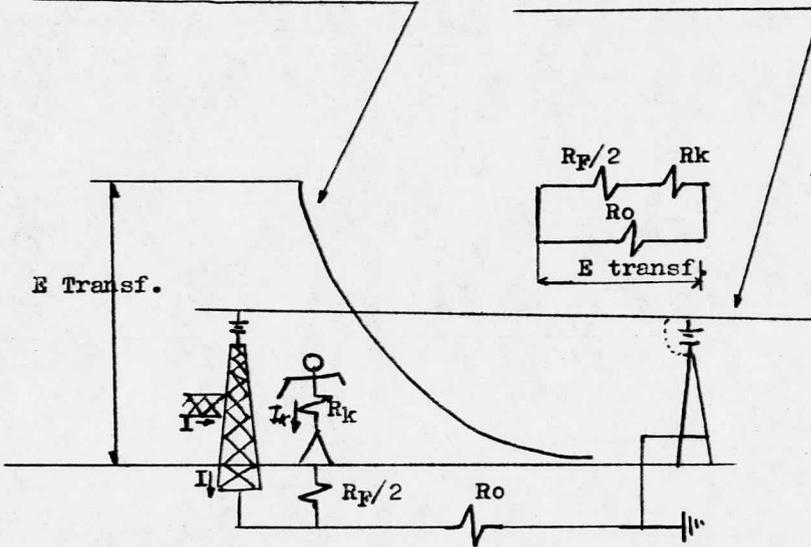


Figura 7

Ejemplo de peligro por potencial transferido.

La figura 7 muestra un ejemplo de contacto de potencial transferidos que pueden considerarse como un caso especial de contactos de toque.

Una persona situada dentro del área de una subestación, puede - tocar un objeto conectado a tierra en un lugar remoto o al contrario, situado en un lugar remoto puede tocar un objeto conectado a tierra - dentro del área de la subestación.

Aquí el voltaje puede ser esencialmente igual al valor total de voltaje de la malla de tierra bajo condiciones de falla y no a una fracción del total como sucede en los contactos de toque ó de paso.

Las constantes del circuito incluyen la resistencia de los electrodos conectados al sistema ( $R_1 + R_2 + R_0$  en fig. 5 +  $R_1 + R_0$  de fig. 6 y  $R_0$  de fig. 7), lo mismo que la resistencia de contacto de la mano (para contactos de toque), la resistencia de los zapatos, la resistencia  $R_f$  del suelo inmediata bajo cada pie y la resistencia  $R_k$  del cuerpo.

La resistencia de contactos de la mano quizá sea demasiado baja y se le dá un valor de cero. La resistencia de los zapatos es variable y para cuero húmedo puede ser muy pequeña y también se le supone igual a cero.

La resistencia de la tierra justo abajo del pie, sin embargo, puede afectar apreciablemente el valor de la corriente en el cuerpo. El pie puede ser considerado equivalente a una placa electrodo circular de aproximadamente 8 centímetros de radio y la resistencia del suelo puede ser calculada en términos de resistividad que es ps (en ohm-metro) de la tierra cerca de la superficie.

Combinando apropiadamente las constantes del circuito y la ecuación (I) el potencial tolerable entre dos puntos que puedan estar en contacto simultáneamente serán:

$$\begin{aligned} \text{Epasso} &= (R_k + 2R_f) (I_k) \\ &= (1000 + 6\rho_a) (0.165/\sqrt{t}) \\ &= (165 + \rho_s \gamma / \sqrt{t}) \text{ Volts} \text{-----}(2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Etoque} &= (R_k + R_f/2) (I_k) \\ &= 1000 + 1.5 \rho_s) (0.165/\sqrt{t}) \\ &= (165 + 0.25 \rho_s) / \sqrt{t} \text{ Volts} \text{-----}(3) \end{aligned}$$

Donde:

Epasso = Es la diferencia de potencial entre dos puntos - sobre la superficie del suelo, los cuales pueden ser tocados simultáneamente por los pies.

Etoque = Es la diferencia de potencial entre cualquier punto sobre el suelo donde el hombre puede estar parado y cualquier punto que pueda tocar simultáneamente con la mano.

Algunos autores han tomado el valor de 150 V. para ambos casos, como el valor de voltaje tolerable durante un tiempo de 1.2 segundos máximos.

### C.2 Procedimiento para el diseño.

Con los límites de voltaje tolerables para paso y contacto ya - determinado, podemos diseñar y construir un sistema de tierras para una subestación e instalación industrial.

Los pasos a seguir para el diseño del sistema de tierras son los siguientes:

- 1) Investigación de las características del suelo.
- 2) Determinación de la corriente máxima a tierra.
- 3) Diseño preliminar del sistema de tierras.

- 4) Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.
- 5) Cálculo del voltaje de paso a la periferia.
- 6) Cálculo del voltaje de paso interno y de toque.

Un cálculo preciso de la distribución de corriente en el suelo durante una falla es muy difícil de alcanzar debido a el conocimiento tan imperfecto que se tiene de la resistividad del terreno y de sus variaciones en medio plano o superficial y a diferentes profundidades.

Debido a la gran resistividad eléctrica de la tierra todas las corrientes que fluyen por ella, producen una caída de tensión considerable, por lo tanto se hace necesario romper el concepto popular - que el potencial de la tierra es siempre cero. Por el contrario, pueden desarrollarse en su seno fuertes intensidades de campo eléctrico o gradientes de potencial que afecta a extensas regiones de la superficie terrestre.

#### D. Apartarrayos.

Los apartarrayos tienen como fin principal el de ser una protección más de la subestación e instalaciones eléctricas, los apartarrayos son de tipo autovalvular y su cometido consiste en limitar las frecuentes apariciones de sobretensiones que bien pueden ser:

- 1.- Sobretensiones atmosféricas que son provocadas por las tormentas.
- 2.- Sobretensiones que pueden originarse dentro, debido a cortos circuitos, retirar carga o líneas de servicio en vacío y en otras ocasiones al establecerse contacto a tierra.

Para todas las cosas anteriores, como se comprende, las sobretensiones superan un valor que es desde luego perjudicial a los transformadores y aparatos conectados y por lo tanto es necesario reducir en todo lo posible estos perjuicios que resultan costosos, haciendo la instalación de apartarrayos autovalvulares.

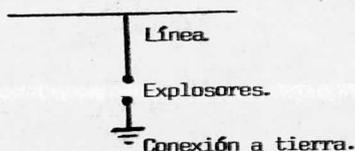
Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan el equipo si no se le tiene protegido correctamente; para la protección del mismo se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Descargas directas sobre la instalación.
2. Descargas indirectas.

De las cosas anteriores el más interesante, por presentarse con mayor frecuencia, es el de las descargas indirectas.

El apartarrayos, dispositivo que se encuentra conectado permanentemente en el sistema, opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra.

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



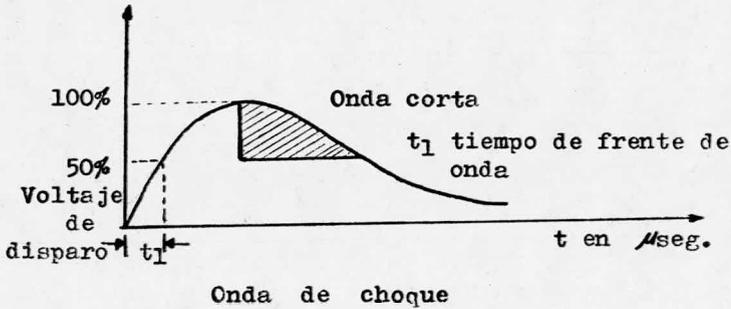
El apartarrayos tipo autovalvular consiste de varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables, cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Se emplean en los sistemas que operan a grandes tensiones, ya que representa una gran seguridad de operación.

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

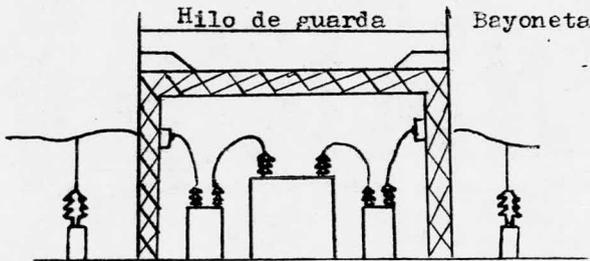
Las ondas que normalmente se presentan son de  $1.5 \times 40$  microseg. Esto quiere decir que alcanza su valor de frente en 1.5 a 1 microseg. (tiempo de frente de onda). La función del apartarrayos es cortar su

valor máximo de onda (aplanar la onda).

Las sobretensiones originadas por descargas indirectas se deben a que se almacenan sobre las líneas cargas electrostáticas que al ocurrir la descarga se parten en dos y viajan en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz.



Los apartarrayos protegen también a las instalaciones contra descargas directas, para lo cual tienen un cierto radio de protección. Para dar mayor seguridad a las instalaciones contra descargas directas se instalan unas varillas conocidas como bayonetas e hilos de guarda semejantes a los que se colocan en las líneas de transmisión.



La tensión a que operan los apartarrayos se conoce técnicamente

como tensión de cebado del apartarrayos.

En la selección de los apartarrayos hay que tomar en cuenta las características atmosféricas de donde se vaya a instalar, generalmente están diseñados para trabajar hasta altitudes de 1830 MSNM, para lo cual si se sobrepasa esta altura, se efectuarán los ajustes necesarios recomendados por el fabricante.

Se tienen dos tipos de apartarrayos dependiendo del circuito donde se vaya a instalar éste, los cuales son:

1' Apartarrayos para circuitos con neutro no aterrizado. Estos son utilizados cuando en el circuito el cable neutro no está aterrizado, ó sea cuando está aislado. O se conecta a través de neutralizador, resistencia o reactancia de alto valor.

Estos apartarrayos se les denomina de "100%", pues ellos deben soportar el voltaje nominal de línea a línea cuando hay una falla a tierra ó en una fase.

2' Apartarrayos para circuitos con neutro aterrizados.

Estos se utilizan cuando bajo cualquier condición de operación, el apartarrayos estará permanente y sólidamente aterrizado.

Un apartarrayos se selecciona en base al voltaje de fase a neutro del sistema alta tensión. Para nuestro caso se empleara el apartarrayos existente que es de una capacidad de 9 kv de tensión nominal.

## C A P I T U L O   I V

### A. Sistemas de emergencia.

Este capítulo contiene requisitos que deben cumplir las plantas de emergencia instaladas en el aeropuerto, son el objeto de abastecer en caso de interrupción en el sistema de suministro público, algunas cargas que por razones especiales, requieren la mayor continuidad posible del servicio. Tal es el caso de los servicios esenciales en sistemas de comunicación, aeropuertos y en ciertos procesos industriales, cuya interrupción originaría serios perjuicios.

La instalación de las plantas de emergencia requieren autorización previa de la Secretaría de Patrimonio Industrial, para lo cual debe seguirse el procedimiento que ésta fije en los instructivos correspondientes.

Las plantas de emergencia deben instalarse en un local destinado especialmente para ellas y de amplitud suficiente para permitir que la operación y mantenimiento de las mismas puedan efectuarse sin dificultad y dentro de la mayor seguridad posible. Dicho local debe contar con una ventilación adecuada.

Debe contarse con el equipo de transferencia, manual o automático, necesario para hacer el cambio de la alimentación normal a la alimentación con la planta propia, de los circuitos que lo requieran. Dicho equipo debe ser de las características adecuadas para el uso a que se va a destinar.

Además de los requisitos anteriores deben cumplirse los siguientes:

a) La planta debe estar provista de medios adecuados para su arranque automático, al fallar el suministro normal y para la transferencia y abastecimiento a plena carga de los circuitos que debe alimentar en el tiempo mínimo que establezca el ordenamiento respectivo.

b) La planta debe contar con abastecimiento de combustible suficiente para su operación a plena carga durante dos horas, como mínimo.

c) El sistema completo, propio de la planta, cabe ser probado - al terminarse su instalación y, posteriormente, en forma periódica, - según el programa y procedimientos que fije la Secretaría, para asegurarse de que el sistema se mantiene en condiciones adecuadas de operación.

Las plantas eléctricas son dispositivos que aprovechan cierto tipo de energía para producir energía eléctrica. Dicha energía puede provenir de:

- Un motor de combustión interna.
- Los rayos luminosos del sol.
- Los gases provenientes del suelo.
- Etc.

De acuerdo con nuestro objetivo, lo que nos interesa conocer - son las plantas con motores de combustión interna.

Las plantas de motores de combustión interna (m.c.i.) normalmente se clasifican como sigue:

a) De acuerdo al tipo de combustible.

- Con motor a gas (LP).
- Con motor a gasolina.
- Con motor a diesel.

b) De acuerdo al tipo de servicio.

- Servicio continuo.
- Servicio de emergencia.

c) Por su operación.

- Normal.
- Automático.

Las plantas eléctricas de servicio continuo, se aplican en aquellos lugares en donde no hay energía eléctrica por parte de la compañía suministradora de este tipo de energía y en donde es indispensable una continuidad eléctrica, tales como:

En una radio transmisora, un centro de cómputo, semáforos, etc.

Las plantas eléctricas de emergencia, se utilizan en los sistemas de distribución modernos que usan frecuentemente dos o más fuentes de alimentación. Debido a razones de seguridad y/o economía de las instalaciones en donde es esencial la continuidad de servicio eléctrico, por ejemplo:

- Instalaciones de hospitales en las áreas de cirugía, recuperación, cuidado intensivo, salas de tratamiento.
- Para la operación de servicios de importancia crítica como son los elevadores públicos.
- Para instalaciones de alumbrado de locales a los cuales acude un gran número de personas (estadios deportivos, aeropuertos, comercios, transportes colectivos, hoteles, cines, etc.).
- En la industria de proceso continuo.
- En instalaciones de computadora, bancos de memoria, equipos de procesamiento de datos, radar, etc.

Las plantas manuales, son aquellas que requieren para su operación que se opere manualmente un interruptor para arrancar o parar dicha planta. Por ejemplo: casas, algunos comercios pequeños e industrias que no manejan procesos delicados.

Las plantas automáticas, son aquellas que solamente al inicio se operan manualmente, ya que después, éstas cumplen sus funciones automáticamente; dichas plantas son utilizadas sólo en servicio de emergencia.

La mayoría de los motores empleados en las instalaciones fijas son de tipo diesel. (Ver siguiente tabla). Actualmente se emplea el-

motor Diesel de cuatro tiempos para potencias medias y para altas potencias se usan motores diesel de dos tiempos de efecto doble o simple.

Diferencias básicas entre los motores de gasolina y diesel.

Componentes	Gasolina	Diesel
Sistema de combustible	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Bomba de gasolina, filtros y - y carburador, múltiple de admisión complicado.</li> <li>2) El combustible y el aire se - mezclan antes de entrar a la - cámara de combustión .</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Bomba de transferencia, filtros, bomba de inyección y toberas. Múltiple de admisión sencillo.</li> <li>2) Únicamente entra aire en la cámara de combustión: El combustible se inyecta precisamente a - tiempo. Buena eficiencia térmica.</li> </ol>
Tipo de combustible.	Gasolina: costosa, problemas de almacenamiento, flamable.	Combustible diesel: Comúnmente más barato y se consume menor cantidad. Sin problemas de almacenamiento, inflamable.
Relación de compresión	6-8: 1	15-19: 1
Presión de compresión	100-120 lbs/plg <sup>2</sup>	500-600 lbs/plg <sup>2</sup>
Sistema de ignición.	Magneto a baterías, con bobina, - bujías, volantes, relevadores, platinos, etc.	Ignición por compresión a 538 °C (1000 °F) A la velocidad de arranque que ocurre aproximadamente a 149 °C (300°F).

Construcción del motor	Peso ligero, grandes esfuerzos de tensión para los émbolos, cigüeñal, árbol de levas, bielas, etc.	Más grande y robusto para tener mayor cantidad de fuerza y duración que partes similares del motor de gasolina.
Operación	Arranque más rápido.	Tarda más tiempo para arrancar.
Eficiencia	Se desperdicia gran cantidad de combustible.	Buena eficiencia térmica más BTU convertidos en energía y potencia utilizables.
Humos	Tóxicos, monóxido de carbono.	Notóxicos, no venenosos buenos para instalaciones cerradas.

#### A.1 Selección de la planta eléctrica.

Para la selección del tipo, modelo, potencia, etc., de la planta eléctrica, tomaremos en cuenta los siguientes aspectos:

Carga por abastecer.

Clase de corriente a utilizar.

Voltaje de generación.

Frecuencia.

Número de fases.

Número de hilos.

Altura de operación.

Número de unidades a emplear.

Combustible a emplear.

Carga por abastecer.- Sistema de alumbrado y contactos de acuerdo a la siguiente relación:

Tablero	Voltaje de Operación	# de fases	# de hilos	Frecuencia.	Kw instalados.
AE	220/127 V	3	4	60	6670
BE	220/127 V	3	4	60	7100
CE	220/127 V	3	4	60	7205
DE	220/127 V	3	4	60	7100
EE	220/127 V	3	4	60	7600

$$Kwtot = 35.675 + Kw \text{ (fza. motriz)}$$

$$= 35.675 + 16 = 51.675 \text{ Kw.}$$

Se considera además de la carga obtenida, un 15% del total como carga futura o adicional, tomando en cuenta que la demanda del sistema de emergencia se satura en corto tiempo; por lo tanto, la carga total a considerar en emergencia será:

$$Kwtot = 51.765 + 0.15 \times 51.675 = 59.426 \text{ Kw.}$$

Clase de voltaje a utilizar: Alterna.

Voltaje de generación: 220/127 Volts.

Frecuencia: 60 c.p.s.

Número de fases: 3.

Número de hilos: 4.

Altura de operación: 40 M.S.N.M.\*

Número de unidades a emplear: 1

Kw por abastecer = 59.426 Kw.

Kw continuos de planta eléctrica comercial superior o igual al valor obtenido, igual a 60 Kw, lo que implica que requiere de una sola unidad.

Combustible a emplear: Diesel.

De acuerdo a los datos anteriores obtenidos en los incisos ante-

\*Metros sobre el nivel del mar.

riores, la unidad seleccionada es la siguiente:

Planta diesel eléctrica, marca Selmec o similar, de las siguientes características:

Estas plantas eléctricas son unidades de fuerza, compuestas de un motor de combustión interna de 4, 6, 12 ó 16 cilindros, tipo industrial estacionario, un generador eléctrico de corriente alterna con sus controles y accesorios totalmente ensamblados y probados en fábrica.

Dichos controles y accesorios están seleccionados para trabajar en conjunto dando la máxima seguridad y alta eficiencia en su operación.

Entre los componentes que integran la planta podemos citar los siguientes:

- a) La planta misma (motor y generador) montada en base de acero estructural con sus sistemas de: Enfriamiento, protección, protección contra alta temperatura de agua, baja presión del aceite y sobrevelocidad, motor de arranque, controles de arranque y paro, válvulas de purga, bombas de inyección de combustible, filtros de aire, aceite y combustible.
- b) Interruptor de transferencia automática montada en su respectivo gabinete.
- c) Tablero de control conteniendo: Circuito de control de arranque y paro automático de la planta, mantenedor de carga de baterías, fusibles de protección, relevador de tiempo de transferencia, relevador de tiempo de paro del motor, reloj-programador y relevadores sensitivos de voltaje.
- d) Instrumentos: Un voltmetro, amperímetro, frecuencímetro y horímetro, conmutadores de fases para el amperímetro y el voltmetro, kilowatt-horímetro (cuando la capacidad de la planta es superior a 55 Kw).

Estos instrumentos se pueden localizar integrados en la -  
puerta del tablero de control (plantas automáticas) o en ga  
binete independiente para montaje en pared o sobre el gene  
rador en la planta (plantas de arranque manual).

- e) Acumuladores con sus cables de conexión.
- f) Silenciador de gases de escape tipo hospital, industrial, -  
residencial y tramo de tubo flexible para conectarlo con el  
múltiple de escape del motor.
- g) Un juego de pernos de anclaje y amortiguadores antivibrato  
rios de hule rígido.

Modelo: CAP - 6 - 6 OP

Emergencia: 65

Kilowatts

Continuos: 60

Emergencia: 82.5

Kilovoltamperes

continuos: 75

F.P. = 0.8 (-)

R.P.M. = 1800

Frecuencia: 60 c.p.s.

Fases: 3

Hilos: 4

Conexión: Estrella.

Voltaje de operación: 220/127 V.

Peso: 1075 Kg.

Todo el alambrado e interconexiones son de acuerdo con el regla  
mento eléctrico. Los instrumentos, focos indicadores y controles es-  
tán identificados adecuadamente.

## A.2 Circuito de control de transferencia y paro.

El circuito de control de transferencia y paro es la unidad que se encarga de:

- Sensar el voltaje de alimentación.
- Dar señal de arranque a la planta cuando el voltaje falta, baja o sube de un nivel adecuado.
- Preparar el interruptor de transferencia para que haga su cambio (Transferencia).
- Dar señal al interruptor de transferencia para que haga el cambio cuando se normaliza la alimentación (Retransferencia).
- Retardar la retransferencia para dar tiempo a la compañía suministradora de normalizar su alimentación.
- Retardar la señal de paro al motor para lograr su enfriamiento.
- Mandar la señal de paro al motor a través del control maestro.
- Programar el arranque de la planta para ejercitarla (Diario o periódicamente).
- Mantener cargado el acumulador.
- Permitir un simulacro de falla de la compañía suministradora.

El circuito de control de transferencia y paro está compuesto - por los siguientes elementos:

- Un sensitivo de voltaje.
- Un relevador de carga.
- Un relevador auxiliar de carga (en algunos tipos de plantas).
- Un relevador de tiempo de retransferencia.
- Un relevador de tiempo de paro.
- Un relevador auxiliar.
- Un reloj programador.
- Un interruptor de prueba.
- Fusibles de protección.
- Mantenedor de carga del acumulador.

Veamos que hace el sistema de control, cuando:

A.- Falla la alimentación normal.

- Instantáneamente el interruptor de transferencia (tipo contactor magnético) sale de la posición normal "N" y pasa a la posición fuera "F" (Fig. 8)
- Al mismo tiempo el circuito de control de transferencia y paro manda señales al:
  - a) Interruptor de transferencia para que éste se prepare para pasar a la posición de emergencia "E".
  - b) Control maestro para que éste a su vez mande la señal de arranque de la planta y lo proteja contra falla de arranque, alta temperatura, baja presión de aceite y sobrevelocidad.
- A los tres segundos la planta genera a toda su capacidad y el interruptor de transferencia se pasa a la posición de emergencia, alimentándose así la carga con la alimentación de emergencia; esta operación se le denomina "Transferencia" y puede variar de tres a siete segundos dependiendo de la capacidad de la planta.

Gráfica de la secuencia de operación del sistema de control en el caso de: Cuando falla la alimentación normal.

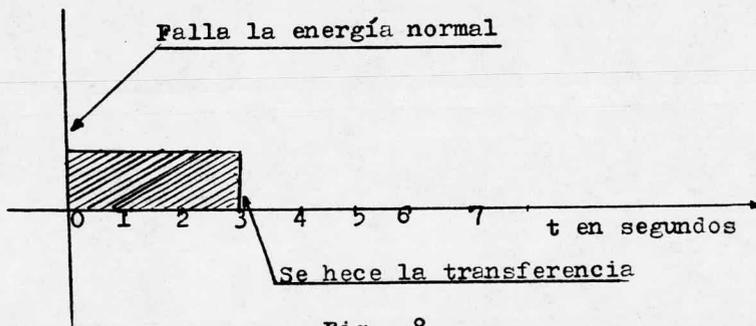


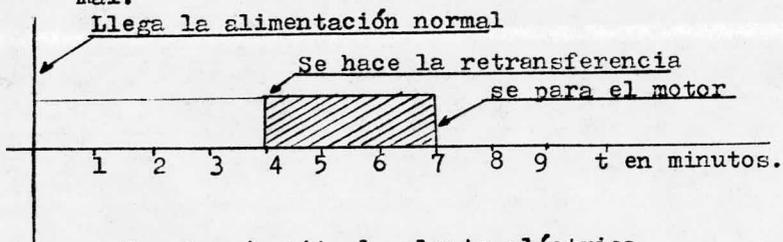
Fig. 8

B.- Se restablece la alimentación normal.

- El circuito de control de transferencia y paro detecta la presencia de la alimentación normal y:

- a) A los cuatro minutos manda la señal al interruptor de -  
transferencia para que haga la retransferencia o sea que -  
se pasa de la posición "E" a la posición "N". Se dá este -  
tiempo para dar oportunidad a la alimentación normal de res  
tablecerse completamente, aunque también es variable depen-  
diendo de la zona en que esté instalada la planta.
- b) Cuatro minutos después manda la señal al control maestro -  
para que éste dé la señal de paro de la planta. Se dá este  
tiempo para dar oportunidad a la unidad para que ésta disi  
pe el calor excesivo, lográndose con ello una mejor conser-  
vación del motor.

Gráfica de la secuencia de operación del sistema de control en-  
el caso de: **Quando se restablece la alimentación nor-  
mal.**



C.- Se ejercita la planta eléctrica

- Esta operación normalmente se hace cada semana durante media-  
hora, para tenerla en condiciones de operación para cuando fa  
lle la energía normal.
- Para esto se encarga un reloj programador que está en el cir-  
cuito de control.
- Aunque hay alimentación de emergencia no hay probabilidad de-  
que el interruptor de transferencia se pase de la posición "N"

a la posición "E".

- En caso de que falle la alimentación normal mientras se está ejercitando la planta, el circuito de control manda la señal al interruptor de transferencia, también manda la señal de falla de alimentación normal al control maestro, siguiendo trabajando la planta, aunque el reloj programador dé la señal de paro, predominado así la condición de falla de la alimentación normal.

### A.3 Interruptor automático de transferencia.

a) Definición.- Un interruptor automático de transferencia es un aparato de emergencia que automáticamente e instantáneamente (relativamente), transfiere la carga a los circuitos de fuerza y alumbrado de una fuente normal a una fuente de alimentación de emergencia.

b) Aplicación.- Donde quiera que la continuidad de servicio de fuerza y alumbrado sea esencial, desde el punto de vista de seguridad o economía, dos o más fuentes de energía deben ser usados. Ahora bien, estas fuentes de alimentación son ó están automáticamente conectadas hacia los circuitos de cargas para que, en caso de fallar una, opere la otra; ésto se logra por medio del interruptor de transferencia (Figuras 9 y 10).

Componentes básicos del sistema eléctrico de una industria  
con dos alimentaciones.

La **carga**

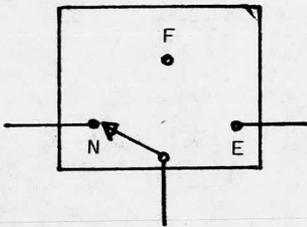
Una **alimentación normal** que es proporcionada por la

**Cía. de luz y Fza ó C.F.E.**

una **alimentación de emergencia** que es proporcionada por la

**planta eléctrica**

Un **interruptor de transferencia**



Un

**circuito de control de transferencia y paro.**

Un **control maestro**

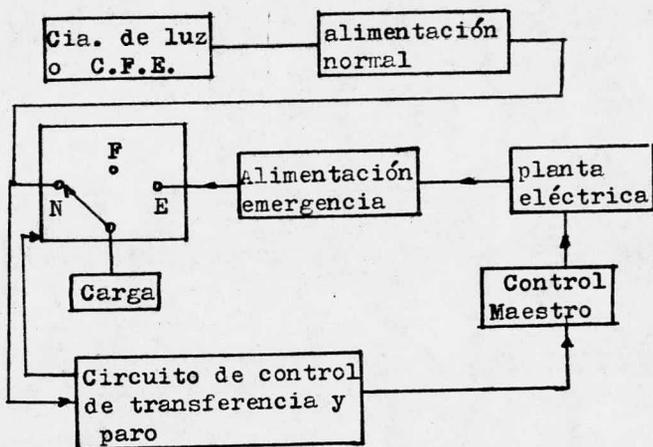


Figura 10

Arreglo típico del sistema eléctrico de una industria con dos alimentaciones.

Los interruptores automáticos de transferencia son usados para proporcionar continuamente el alumbrado y fuerza, para prevenir accidentes, pánico, pérdidas en producción e ingresos y robo. Estos son usados en hospitales, teatros, bancos, aeropuertos, en general todos los lugares donde la continuidad de servicio es esencial.

Además se emplean para dar continuidad de potencia a: estaciones de radio y televisión, equipo importante en estaciones generadores de potencia, estaciones de abastecimiento de agua, señales de aeropuerto y sistemas de ferrocarril.

Los interruptores automáticos de transferencia son eslabones vitales, en los sistemas de distribución de luz y potencia.

a) Operación.- Las instalaciones más usuales de interruptores automáticos de potencia están formadas por dos fuentes de abastecimiento, una de las cuales es la fuente normal y la otra la fuente de abastecimiento de emergencia. La transferencia a la fuente de emergencia se efectúa cuando el voltaje de cualquier fase cae al 70% ó menos; és to se logra por medio de dos relevadores apropiados que supervisan la fuente normal de potencia. La transferencia a la fuente normal se hace automáticamente cuando el voltaje de todas las fases es de 90% o más.

Al restablecerse el suministro normal de energía eléctrica, el equipo de transferencia automático conecta la carga al servicio normal a un tiempo ajustable entre 0 y 4 minutos, como ya lo hemos visto, con el objeto de dar oportunidad a que el sistema de energía se estabilice.

A.3.1 Características generales de los interruptores de transferencia.

Los interruptores de transferencia son robustos, sencillos y funcionales y están diseñados para prestar servicio durante muchos años, con un mantenimiento mínimo.

Consiste este "transfer" de un interruptor de carga única, operando eléctrica y mecánicamente, que es capaz de manejar toda la energía del generador, así como la de interrumpir la corriente que pasa por la línea en forma continua, así como los picos que sucedan sin dañarse.

Algunos interruptores de transferencia van equipados con protección térmica y magnética para proteger al generador, como también a las líneas y aparatos, en caso de algún corto circuito o una sobrecarga constante.

Existen varios tipos de interruptores de transferencia, depen -

diendo éstos de las cargas por conmutar: :

Interruptor de transferencia tipo contactores hasta 250 amperes.

Interruptor de transferencia en caja moldeada con protección magnética (tipo Changematic) hasta 1000 amperes.

Interruptor de transferencia electromagnético en aire hasta 3000 amperes.

Para nuestra planta o sistema de emergencia, es necesario un tablero con interruptor automático de transferencia de las siguientes - características:

Interruptor Trifásico F.P.E. ó similar

Volts: 220 Volts. c.a. Máx.

Capacidad en amperes hasta 600 Amp.

Marco tipo: NJL.

Frecuencia 60 c.p.s.

## C A P I T U L O V

Programa para el retiro e instalación del equipo eléctrico de edificio terminal del Aeropuerto de referencia.

### A. Introducción.

Para el retiro del equipo viejo e instalación del equipo eléctrico nuevo, incluyen e intervienen varios factores, como es la perfecta coordinación que debe existir entre varios departamentos como a continuación se indica.

Previamente deberá existir un proyecto en el cual el departamento de Obra debe coordinarse con el departamento de Mantenimiento y estos, a su vez, con el departamento de Administración del aeropuerto de referencia, ya que este último conoce el movimiento que existe en el aeropuerto, teniendo como objetivo que el aeropuerto tenga siempre servicio de energía eléctrica. Es de suma importancia, ya que los aeropuertos son lugares en los cuales existe un gran movimiento de personas que en determinado momento se pondrían en peligro de no existir la continuidad en el servicio de energía eléctrica. De aquí la importancia de la debida coordinación que debe existir entre los departamentos antes mencionados. De lo contrario, de no haber coordinación en los mencionados departamentos podría ser contraproducente, ya que como se dijo antes existen zonas en las cuales por ningún motivo o circunstancia deben quedar sin energía eléctrica, como por ejemplo: torre de control, sistemas de alarmas, bomberos, alumbrado en salidas de emergencia, etc. En estos lugares es de vital importancia la continuidad del servicio eléctrico, ya que por ejemplo en determinado momento de la torre de control dependen un gran número de personas que podrían accidentarse de no existir la debida comunicación entre torre de control y la aeronave, y para que esta comunicación pueda existir debe existir la continuidad en la energía eléctrica antes mencionada.

El departamento que fijará la hora y día que se podrá llevar a - a cabo la transición del equipo eléctrico será el departamento de ad ministración del aeropuerto, ya que dicho departamento, es el que me jor conoce el movimiento de ascenso y descenso de pasaje del mencionado aeropuerto, durante las 24 horas del día.

Los pasos anteriores son los que se refieren a lo administrativo. A continuación se indicará el procedimiento a seguir en el retiro e - instalación del equipo eléctrico. Esta transición la llevará a cabo el departamento de obra técnica en coordinación con el departamento de - proyecto.

Para la instalación y/o retiro del equipo eléctrico dentro del - edificio se hará dependiendo del tipo de local, en el cual se tenga - que hacer la transición de dicho equipo. Y esto se hará por etapas, - reubicando las áreas afectadas (desde luego en los locales que permita dicha reubicación) provisionalmente en lugares previamente determina dos por la administración y el departamento de obra; una vez desaloja da dicha área se procederá a retirar el equipo viejo de esa área y almacenarlo en el lugar predeterminado para tal objetivo, una vez retirado este equipo se instalará el equipo nuevo, según lo indique el plano correspondiente a dichas instalaciones, tales como: instalación de canalizaciones, cableado, contactos, etc. Concluidas las instalaci ones, se procederá a reinstalar el área que fue afectada.

Para las áreas que no se puedan trasladar de un lugar a otro por su complejidad se le harán las modificaciones necesarias en el mismo lugar donde están ubicadas, mediante un programa predeterminado.

Como ya se mencionó antes, el edificio se dividirá en dos grupos; en un grupo estarán los locales que puedan ser reubicados y en el segundo grupo, los locales que no pueden ser reubicados.

#### Primer grupo

1. Corredor de acceso del edificio.

2. Corredor de acceso a la plataforma.
3. Oficinas de Aerolíneas.
4. Sala bienvenida.
5. Sala espera.
6. Sala última espera.
7. Comandancia.
8. Locales comerciales.

Segundo grupo

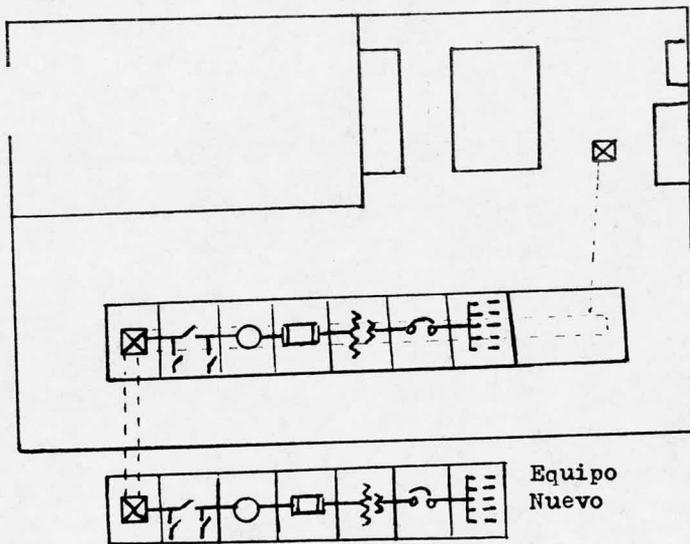
1. Vestíbulo de documentación.
2. Reclamo de equipaje.
3. Cocina.
4. Restaurante.
5. Sanitarios.

B. Retiro e instalación de equipo eléctrico en Subestación.

Para el retiro e instalación de canalizaciones, contactos y las luminarias dentro de la subestación se hará en dos etapas, la primera que consistirá en el desmantelamiento y retiro de las canalizaciones, conductores, contactos y luminarias. La segunda será la instalación de las nuevas canalizaciones, conductores, etc.

Para mantener la iluminación necesaria para poder desmantelar e instalar el equipo nuevo nos auxiliaremos con lámparas incandescentes colocadas provisionalmente mientras dura la transición.

La transición del equipo eléctrico de la subestación se hará de tal forma que la continuidad del servicio de energía eléctrica no se vea afectada en ningún momento. Para que esto no suceda el nuevo equipo se instalara provisionalmente, a un lado del local destinado a la subestación eléctrica (Fig. V-1). Una vez instalado el equipo eléctrico se le harán pruebas preoperacionales, como por ejemplo, que las cuchillas estén bien conectadas, que el interruptor sea de la capacidad adecuada, que el equipo de medición esté bien calibrado, que



**Figura V-1**

cada gabinete esté bien acoplado, que al transformador se le realicen sus pruebas correspondientes, tales como: resistencia de los aislamientos, tensión de ruptura dieléctrica del aceite, relación de transformación, polaridad o secuencia de fases, etc. Una vez realizadas estas pruebas se pondrá en servicio. Siempre aunque uno no lo quiera es necesario sacar de servicio para conexión y desconexión del equipo eléctrico, estos intervalos deben ser breves, por lo tanto esta puesta en servicio se hará durante el día y hora previamente programada, al mismo tiempo que se desconectará el equipo ya existente para ser reinstalado nuevamente a un costado de la subestación (Fig. V-2). Una vez instalado el equipo se le aplicarán algunas pruebas preoperacionales y una vez realizadas se pondrá en servicio.

Se desconectará el equipo nuevo y se instalará dentro de la subestación (Fig. V-3), una vez instalado se le aplicarán las pruebas preoperacionales antes mencionadas en forma definitiva, una vez realizadas se pondrá en servicio y se procederá a verificar que su funcio-

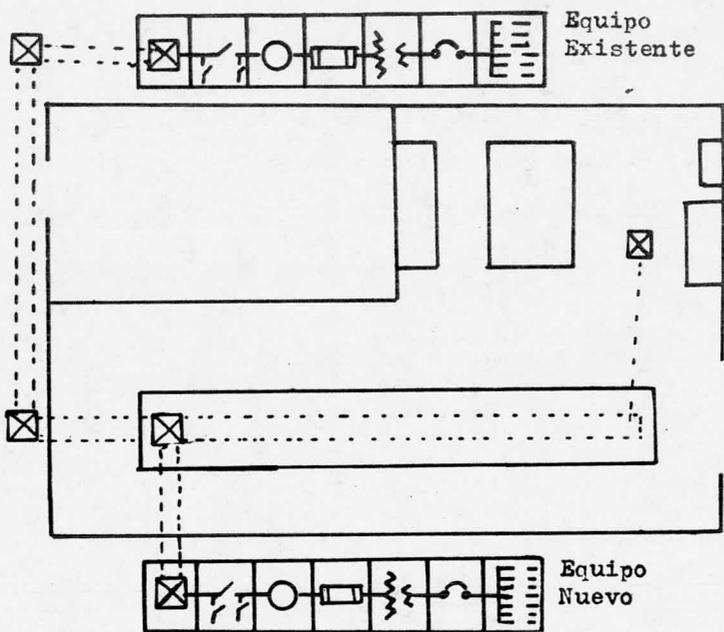


Figura V-2

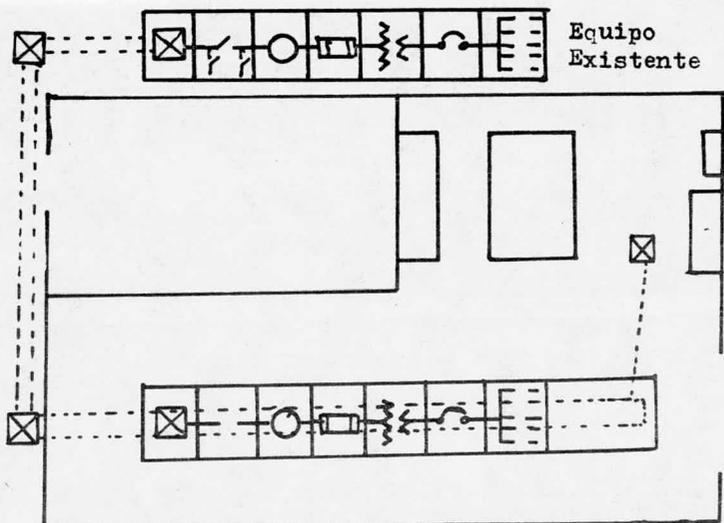


Figura V-3

namiento sea el óptimo. El equipo viejo se desconectará y retirará -- para almacenarse en el lugar previamente determinado para tal obje -- tivo.

C. Sistema de Emergencia.

Para el retiro e instalación del equipo del sistema de emergen - cia se hará en el día y hora en que el flujo de personas en el aero - puerto sea mínimo. Con el objeto de prevenir que el edificio terminal aéreo quede sin energía durante la transición del sistema de emergen - cia (Falla en el sistema Normal) se colocarán bancos de baterías en - los lugares más críticos de dicho edificio.

Para la transición de las otras instalaciones tales como: aire - acondicionado, teléfonos, sistema hidráulico, etc., se llevará a cabo al mismo tiempo que las instalaciones eléctricas, para las cuales de - berá existir una adecuada coordinación entre ellas.



## CONCLUSIONES

Como se ha visto las instalaciones eléctricas juegan un papel bastante importante e indispensables en la industria en general. - Pero para que estas instalaciones eléctricas cumplan con su cometido se deben tomar en cuenta todo tipo de normas y especificaciones, además de la información que se debe tener del lugar donde se van a realizar dichas instalaciones, con el objeto de que cuando estas instalaciones sean concluidas, cumplan con las Normas mínimas de seguridad.

Además de que se deben de llevar una secuencia ordenada desde su diseño hasta su instalación, posteriormente para su buen mantenimiento se debe contar con un personal técnico bien capacitado, ya que el adiestramiento del personal técnico es indispensable, pues de la seguridad en su trabajo serán los resultados.

En conclusión una buena instalación eléctrica debe contar con un buen diseño y el personal debidamente capacitado, para que estas instalaciones una vez concluidas sean confiables, flexibles y seguras, además de cumplir con las normas mínimas de seguridad.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS.  
Ing. Becerril L. Diego Onésimo.
- 2.- MANUAL DE INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES E INDUSTRIALES.  
Ing. G. Enriquez Harper.
- 3.- FUNDAMENTOS DE INSTALACIONES ELECTRICAS DE MEDIANA Y ALTA TENSION.  
Ing. G. Enriquez Harper.  
Ed. LIMUSA.
- 4.- LUMINOTECNIA.  
Enciclopedia CEAC.
- 5.- MANUAL DE LUMINOTECNIA.  
Aloy Flo.
- 6.- INSTALACIONES ELECTRICAS.  
Gaudencio Zoppetti.  
Ed. Gustavo Gili.
- 7.- CENTRALES ELECTRICAS DE GRANDE Y PEQUEÑA POTENCIA.  
Gomberto Veroi.  
Edit. Gustavo Gili.
- 8.- ELECTRICIDAD, RADIO, TV; TOMO VI.  
(Luminotecnica teórico práctico)  
Manuel Sevilla.  
Ediciones AFHA.
- 9.- PLANTAS ELECTRICAS.  
(Teoría y Proyecto)  
Carlos Luca M.  
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A.
- 10.- ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.  
Ing. G. Enriquez Harper.  
Edit. LIMUSA.
- 11.- MANUAL DE ALUMBRADO.  
Westinghouse.  
Edit. Dossat, S.A.
- 12.- MANUAL DEL MONTADOR ELECTRICISTA.  
T. Croft, C.C. Carr. y J.H. Watt.
- 13.- NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS.  
Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.  
(D.G.N.)

- 14.- MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS ELECTRICAS DE EMERGENCIA.  
SELMEC.
- 15.- CATALOGO CONDENSADO. F.P.E.
- 16.- CATALOGO Conductores Monterrey.
- 17.- CATALOGO CONDUMEX.
- 18.- CATALOGO Square"D de México.
- 19.- CATALOGO CONDENSADO Holophone.
- 20.- CATALOGO SIEMENS Baja Tensión.