



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" A R A G O N "

" CURRÍCULO LABORAL PARA PERSONAS  
CON SÍNDROME DE DOWN. "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN PEDAGOGIA  
P R E S E N T A N :  
RAMONA MEDINA CASABLANCA  
MARGARITA LETICIA PERCASTRE CORTES

ASESOR:

*Lic. José Luis Carrasco Nuñez*



SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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

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

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

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

**"PROYECTO ELECTROMECHANICO PARA UN SISTEMA DE  
BOMBEO DE AGUAS COMBINADAS"**

**T E M A R I O**

**CAPITULO**

INTRODUCCION

I.- GENERALIDADES

II.- SISTEMA DE FUERZA Y ALUMBRADO

III.-SISTEMA DE TIERRAS

IV.- SUBESTACION

V.- PLANTA DE EMERGENCIA

VI.- PROYECTO DE INSTALACION

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

## I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>6</b>
<b>I. GENERALIDADES</b>	<b>10</b>
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 BOMBAS Y SU CLASIFICACION	10
1.3 APLICACIONES DE BOMBAS	20
<b>II. SISTEMA DE FUERZA Y ALUMBRADO</b>	<b>29</b>
2.1 MOTORES ELECTRICOS	29
* CLASIFICACION DE MOTORES	
* MOTOR ELECTRICO DE INDUCCION	
* CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION	
* ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN MOTOR DE INDUCCION	
2.2 CONSIDERACIONES BASICAS SOBRE MOTORES ELECTRICOS	47
* CONSIDERACIONES SOBRE DISEÑO MECANICO	
* TIPOS DE CARCAZA MAS FRECUENTES	
* TIPOS DE AISLAMIENTO	
2.3 CONDUCTORES	51
* TIPOS DE AISLAMIENTO DE CONDUCTORES DE BAJA TENSION	
* CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL CONDUCTOR ELECTRICO	
2.4 ALUMBRADO	64
* LAMPARAS FLUORESCENTES	
* LAMPARAS INCANDESCENTES	
2.5 ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION PARA INSTALACION ELECTRICA DE ESTE PROYECTO	68
2.6 TABLEROS	77

## PAGINA

<b>III. SISTEMA DE TIERRAS</b>	<b>80</b>
--------------------------------	-----------

3.1	OBJETO Y NATURALEZA DEL SISTEMA DE TIERRAS	80
3.2	FACTORES QUE DEBEN TOMARSE EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TIERRAS	80
3.3	DISPOSICION BASICA DE LAS REDES DE TIERRAS	81
3.4	ELEMENTOS DE UNA RED DE TIERRAS	83
3.5	LIMITES DE CORRIENTE TOLERABLES POR EL CUERPO HUMANO	87
3.6	PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE UN SISTEMA DE TIERRAS	96

<b>IV. SUBESTACION</b>	<b>107</b>
------------------------	------------

4.1	CONCEPTOS	107
4.2	PARTES DE UNA SUBESTACION	108
4.3	SUBESTACIONES PARA SISTEMAS DE BOMBEO	110
4.4	TRANSFORMADOR ELECTRICICO	120
4.5	MEDIOS DE PROTECCION	129

<b>V. PLANTA DE EMERGENCIA</b>	<b>139</b>
--------------------------------	------------

5.1	PLANTAS GENERADORAS DE ELECTRICIDAD	139
5.2	PLANTAS DE EMERGENCIA	142
5.3	CARACTERISTICAS GENERALES DE LA PLANTA AUTOMATICA DE ESTE PROYECTO	147
5.4	EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA DE LA PLANTA	149
5.5	EL GENERADOR SINCRONO	151

PAGINA

<b>VI. PROYECTO DE INSTALACION</b>	<b>158</b>
6.1 COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS	158
6.2 CALCULOS DEL EQUIPO DE BOMBEO	159
6.3 CALCULO DE LA PLANTA DE EMERGENCIA	166
6.4 CALCULO DE TRANSFORMADORES	172
6.5 CALCULO DE FUSIBLES E INTERRUPTORES DE PROTECCION	174
6.6 CABLES ALIMENTADORES	176
6.7 CORTO CIRCUITO	180
6.8 CALCULO DE RED DE TIERRAS	190
6.9 ALUMBRADO INTERIOR	202
6.10 ALUMBRADO EXTERIOR	211
6.11 ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION	221
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>228</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>230</b>

## INTRODUCCION

La ciudad de México durante su desarrollo, después de 1930, al mismo tiempo que hacía la construcción de constantes obras para evitar inundaciones, había estado realizando otras para extender los servicios de agua y alcantarillado, aunque esto lo hacía en sólo fracciones de las nuevas zonas habitadas que por todos los rumbos se establecían, al crecer la superficie poblada más rápidamente que la red de servicios urbanos. Por otro lado, el desquiciamiento del sistema de drenaje con el fenómeno del hundimiento y la sobrecapacidad por el aumento imprevisto del área servida, creaba serios problemas para el desagüe de la urbe.

Las inundaciones que tuvieron lugar en 1950 advirtieron la urgencia de un sistema enérgico de bombeo, dado el dislocamiento del alcantarillado y el hundimiento del Gran Canal. Este problema, junto con el de abastecimiento de agua potable, requería solución urgente. Para tal objeto, en el año de 1953, el Presidente de la República, Adolfo Ruíz Cortines, autorizó la creación de la Dirección de Obras Hidráulicas hoy conocida como la DGCOH (DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA), dependiente del Departamento del Distrito Federal. Esta dirección tenía, entre otras actividades, la de resolver los problemas

interdependientes de agua potable, drenaje y control de hundimiento.

Para resolver estos problemas en forma definitiva, la dirección formuló un plan con los datos disponibles hasta ese momento.

Dicho plan fue la base para realizar las obras requeridas, a fin de dar solución pronta y adecuada a los tres citados problemas. Entre las obras a efectuarse se incluían las siguientes:

1. La construcción de Plantas de Bombeo intercaladas en la red de drenaje como la del colector de las colonias Romero Rubio, Peñón y Pensador Mexicano, en Tacuba y Filomeno Mata, la de Iztaccíhuatl, la de López y muchas más.
2. La ampliación de las capacidades de bombeo en el Gran Canal de 62 m<sup>3</sup>/s a 96 m<sup>3</sup>/s y la instalación de Plantas Generadoras Diesel de 6400 kw para emergencia.
3. Los once tanques de tormenta con 143,000 m<sup>3</sup> de almacenamiento para remediar las deficiencias de capacidad de escurrimiento de diversos colectores.

4. Los interceptores para desviar el exceso de escurrimiento que se concentraba en los colectores sin capacidad suficiente.
5. La detección de fugas y reparación de tuberías, válvulas y conexiones domiciliarias en las instalaciones del sistema de agua potable.
6. La rehabilitación de pozos y plantas de bombeo del sistema de Agua Potable, tanto en Xochimilco como en Lerma, donde también se perforaron nuevos pozos.

El Gran Canal de desagüe fue reparado continuamente: se desazolvó el cauce para conservar área y capacidad de conducción; más tarde se sobreelevaron los bordes y se levantaron muros de concreto para poder alojar los altos niveles de agua obligados y permitir crear la pendiente hidráulica necesaria, a fin de conducir los caudales máximos esperados. Un tirante de agua cada vez mayor se advirtió como consecuencia de las presiones hidráulicas y cargas que afectaban el deleznable terreno provocando filtraciones; obligaba a efectuar otros trabajos de emergencia para evitarlos, como cerrar los agrietamientos para no dejar que por ellos manara agua y arrastrara material que constituye el cuerpo del muro y que, si no se impedía, lo destruiría, ocasionando que las aguas del Canal se precipitaran hacia la parte más valiosa de la ciudad lo cual, según los cálculos, se cubriría en más de

2m de alto en caso de desastre, quedando ahogadas las instalaciones subterráneas: Metro, pasos a desnivel, líneas de energía eléctrica y de telefonía, a la vez que paralizarían las actividades cotidianas de la urbe, causando enormes daños, en aproximadamente 24 millones de metros cuadrados.

Por consiguiente, y a fin de asegurar la supervivencia de la ciudad desde tiempos de los Aztecas, además de desarrollar el arte de la cimentación y construir edificios, se construyeron grandes obras de defensa contra las inundaciones, como el albardón de Nezahualcóyotl; posteriormente las obras de desagüe de Nochistongo y Tequixquiac y en la actualidad el Sistema de Drenaje Profundo. Esta última obra resuelve en definitiva el problema de las inundaciones.

Estas son algunas razones para implementar sistemas de bombeo en diferentes puntos de la ciudad.

En esta tesis se desarrolla un sistema de bombeo para aguas combinadas, que resuelve una de las problemáticas reales de la Ciudad de México, como el del desalojo de las aguas negras y pluviales fuera de ella, a través del Canal Nacional o Gran Canal.

# C A P I T U L O I

## GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

Este proyecto de bombeo de aguas negras y pluviales tuvo un estudio previo respecto al número y tipo de bombas a considerar. Por lo tanto, los datos de 6 equipos de 1,000 LPS cada uno, centrífugas verticales, fueron prefijados con anterioridad.

Solamente a manera de información o para entender algunos términos, definiremos algunos conceptos básicos.

### 1.2 BOMBAS Y SU CLASIFICACION

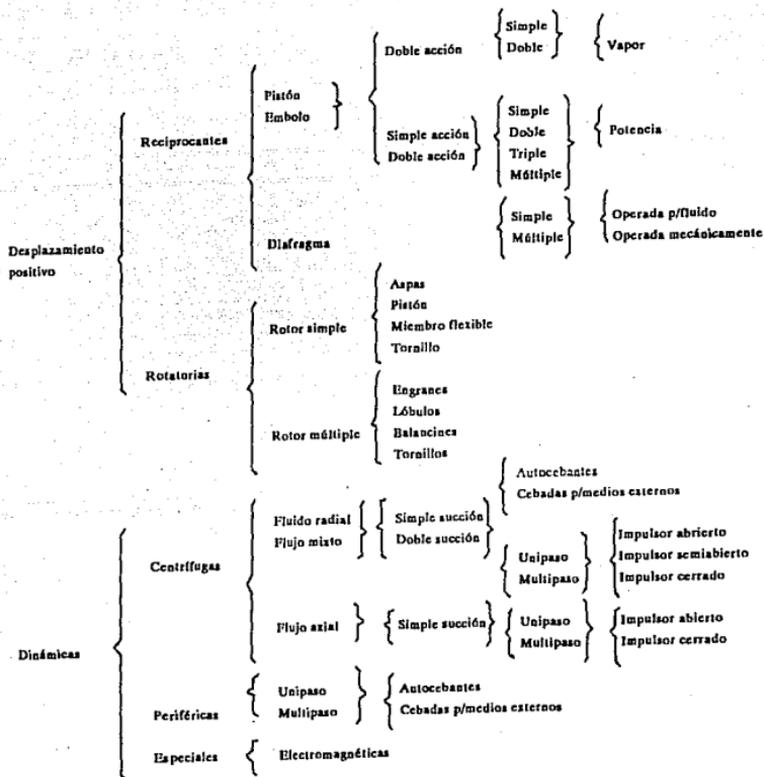
Las bombas son aparatos destinados a transportar los líquidos. Montadas en la canalización por la cual debe circular el fluido, ejerce sobre él el esfuerzo necesario para su transporte, provocando una aspiración en una zona y una impulsión en la otra. Se puede decir que la bomba tiene por objeto transportar fluido, líquido o gas de un punto a otro. La diferencia de presión que hay que vencer expresada en metros de la columna del líquido, constituye la altura de elevación.

Las bombas se clasifican según dos consideraciones generales diferentes: (1) la que toma en consideración

las características de movimiento de líquidos y (2) la que se basa en el tipo o aplicación específica para la cual se ha diseñado la bomba. El uso de estos dos métodos de clasificación de bombas causa gran confusión entre los principiantes y aún entre los veteranos.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación bastante completa de los tipos de bombas usuales:

## CLASIFICACION DE BOMBAS



Esta clasificación podemos reducirla a tres grandes grupos:

Bombas Centrífugas

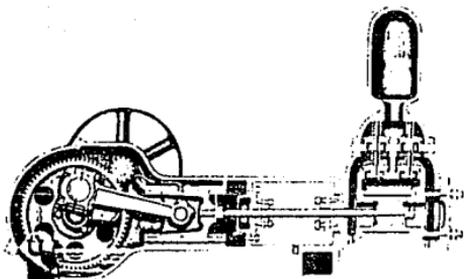
Bombas Rotatorias

Bombas reciprocantes

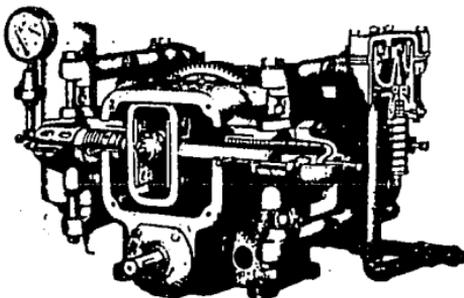
**BOMBAS RECIPROCANTE.**- Las bombas reciprocantes (alternativas) se utilizan en numerosas aplicaciones que exceden la capacidad de las bombas centrífugas o rotatorias. Algunos servicios se podrían efectuar con una centrífuga o rotatoria, pero a expensas de un aumento en los requisitos de potencia y de mantenimiento. Debido a los altos costos de la energía, la bomba de potencia, con su elevada eficiencia mecánica, se usa cada vez más en muchas aplicaciones.

Una bomba reciprocante es de desplazamiento positivo, es decir, recibe un volumen específico de líquido en condiciones casi de succión, lo comprime a la presión de descarga y lo expulsa por la boquilla de descarga. En esta bomba se logra, por el movimiento alternativo de un pistón, émbolo o diafragma.

## EJEMPLOS DE BOMBAS



Bomba horizontal de potencia simple, movida por un piñón engranado a un cigüeñal, tiene válvulas de succión y descarga del tipo de disco. (Cortesía de Fairbanks Morse and Co.)



Bomba cuádruplex de émbolo horizontal para presiones altas, movida por motor con engrane y piñón. Los yugos mueven los émbolos. (Cortesía de The Royaltan Co.)

La bomba reciprocante no es cinética como la centrífuga y no requiere velocidad para producir presión, pues se pueden obtener presiones altas a bajas velocidades. Esta es una ventaja de la bomba reciprocante en particular, para manejar pastas aguadas, abrasivas y líquidos muy viscosos.

La justificación para seleccionar una bomba reciprocante, en vez de una centrífuga o una rotatoria debe ser el costo, no sólo el costo inicial sino el costo total, incluso los costos de energía y mantenimiento.

**DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS RECIPROCANTES.-** Las bombas reciprocantes tienen ciertas desventajas y la más común es el flujo a pulsaciones; por ello, se debe tener cuidado en el diseño del sistema.

En la mayoría de las aplicaciones los costos inicial y de mantenimiento de las bombas reciprocantes serán mayores que para las centrífugas o las rotatorias. La empaquetadura típica en una bomba de potencia dura menos de tres meses.

La bomba de acción directa tiene baja eficiencia térmica cuando se le impulsa con un gas como el vapor de agua. La eficiencia mecánica (fuerza de salida dividida entre la fuerza de entrada) es alta, pero

debido a que no tiene ningún componente para almacenar energía, el gas motor debe permanecer a la plena presión de entrada en el cilindro durante toda la carrera; al final de la carrera se expande el gas hacia el tubo de escape, pero no efectúa ningún trabajo durante la expansión. Por lo tanto, la energía térmica del gas se pierde por fricción.

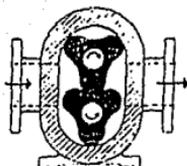
La mayoría de los problemas con las bombas reciprocantes se puede evitar con la selección de bombas que trabajen a velocidades conservadoras, con diseño cuidadoso del sistema de bombeo y con métodos de mantenimiento que conserven la aleación entre el émbolo y el prensaestopas.

**BOMBAS ROTATORIAS.-** Las bombas rotatorias de desplazamiento positivo tienen muchos usos diferentes de la industria de procesos químicos. Se debe pensar en ellas para aplicaciones en donde pueden ser las más adecuadas o, en ciertos casos, las únicas que podrían efectuar el trabajo requerido.

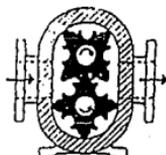
En Hydraulic Institute Standards se describe la bomba rotatoria como... "una bomba de desplazamiento positivo, consistente en una cámara donde están colocados engranes, excéntricas, tornillos, aspas (álabes), émbolos o elementos similares accionados por la rotación relativa del eje (árbol de propulsión) y la

carcasa, y que no tiene válvulas separadas para admisión y descarga".

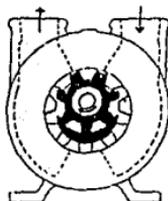
### DIFERENTES TIPOS DE SUCCION



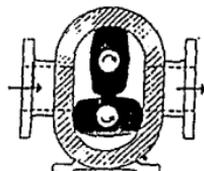
Bomba rotatoria  
de tres lóbulos.



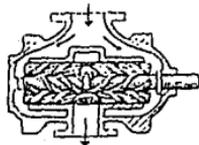
Bomba rotatoria  
de cuatro lóbulos.



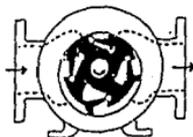
Bomba de en-  
granes interna.



Bomba rotatoria de  
dos lóbulos.



Bomba de tres  
tornillos.



Bomba de paletas  
oscilantes.

Fig. I-2

Algunos términos requieren definición para aplicación a las bombas rotatorias de desplazamiento positivo, al contrario de otros tipos de bombas.

LA PERDIDA, llamada a veces flujo inverso, es un factor importante porque influye directamente en la descarga neta de la bomba y varía según el tipo de líquido que se maneje. Se puede definir como la diferencia entre el desplazamiento teórico de una bomba dada y la descarga real, neta, Q, y se expresa con

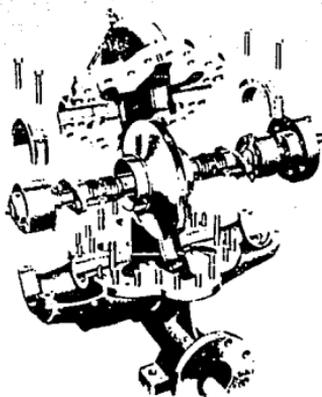
$$Q = D - S$$

donde Q es la capacidad real, gpm; D es el desplazamiento, gpm; y S es la pérdida, gpm.

LA HOLGURA es muy importante en las bombas rotatorias. Indica la holguras entre los elementos rotatorios y la carcasa o entre los elementos en sí. Se expresa como axial o diametral. Por lo general, el usuario no especifica las holguras en una bomba rotatoria; es labor del ingeniero de diseño en bombas.

**BOMBAS CENTRIFUGAS.**- La mayoría de los procesos en las industrias de procesos químicos incluyen la conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión o de energía estática a otro.

La bomba es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia y por ello es parte esencial de todos los procesos. A su vez, el crecimiento y perfeccionamiento de los procesos están ligados con las mejoras en el equipo de bombeo y con un mejor conocimiento de cómo funcionan las bombas y cómo se deben aplicar.



Bomba de propósito general de un solo paso con carcasa horizontalmente dividida. (Cortesía de Peeries Pump Division, Food Machinery and Chemical Corp.).

Fig.I-3

### 1.3. APLICACION DE BOMBAS.-

Se han mencionado de manera muy somera las principales aplicaciones de los diversos tipos de bombas. Si examináramos las industrias, sistemas y procesos donde las bombas desempeñan un papel importante, el tema sería demasiado amplio para cubrirlo aquí de manera exhaustiva. Por lo tanto, las descripciones forzosamente son muy escuetas y sólo tienen por objeto proporcionar una idea general de la enorme variedad de equipo de bombeo necesario para la industria y servicios públicos. Mencionemos algunas:

**PLANTAS TERMOELECTRICAS.-** El ciclo de alimentación de agua a la caldera y de condensado requiere un mínimo de tres bombas; la bomba de condensado que envía el agua desde el condensador hasta los calentadores, la bomba de alimentación de agua a la caldera, y la bomba de circulación, que impulsa el agua fría a través de los tubos del condensador, con lo cual se logra condensar el vapor.

**PLANTAS NUCLEARES.-** La característica principal de las bombas usadas en plantas nucleares es la máxima reducción de fugas, para evitar cualquier posibilidad de contaminación con material radiactivo.

La segunda característica es la confiabilidad del equipo. Los líquidos manejados incluyen agua pesada, agua radiactiva, sodio líquido, lodos radiactivos y bismuto líquido.

Para cumplir los requisitos de servicio de las plantas de energía nuclear, se han diseñado los siguientes tipos de bombas:

Bomba con motor de cierre hermético

Bomba de motor sumergido

Bomba con motor en atmósfera de gas

Bomba con motor de aceite

Bomba con fuga controlada; bomba electro-  
magnética

Bomba de diafragma especial

**SERVICIOS PARA LA MARINA.**- Los servicios de bombas son de suma importancia en los barcos, tanto mercantiles como militares o de pasajeros.

Las bombas centrífugas se usan para servicios auxiliares de condensador, drenajes atmosféricos, salmueras, cargamento, circulación, condensado, control de daños, destilados, drenaje, agua potable, elevadores, enfriamiento de máquinas evaporadoras, circulación de agua caliente, alimentación de conservación, servicios sanitarios y agua de limpieza.

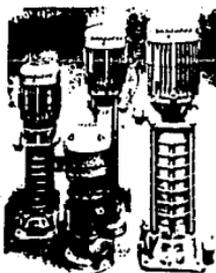
## BOMBAS VERTICALES



Bomba vertical  
lubricada por aceite con  
impulsoras cerradas. (*Cortesia de Layne and Boul-  
ter Corp.*)



Bomba ver-  
tical de flujo mixto que  
puede ser lubricada por  
aceite o por agua. (*Cortesia de Ingersoll-Rand  
Co.*)



Bomba centrífuga vertical de carcasa partida  
verticalmente

Las bombas rotatorias se usan para: servicio de elevadores, mecanismo del timón, circulación de aceites lubricantes y otros servicios.

Las bombas reciprocantes de Acción Directa, se usan para bombeo de aire, para alimentación de calderas, neblina de aceite, bombas de vacío, pruebas hidráulicas, etc.

**OTRAS APLICACIONES.**- También tienen un uso extenso, los equipos de bombeo en las siguientes industrias: Industria petrolera, industria textil, industria del hule, minería y construcción, industria siderúrgica, acondicionamiento de aire y sistemas de bombeo de aguas residuales y, por supuesto, los sistemas de bombeo de agua potable.

Las bombas que manejan aguas residuales, tanto en pequeños sistemas industriales como en los grandes de bombeo de aguas negras de las ciudades, son bombas centrífugas con impulsores de flujo mixto o de flujo axial que pueden manejar gastos elevados con presiones moderadas.

Aquí lo más importante radica en la construcción del impulsor que debe tener pocos álabes para permitir el paso de sólidos en suspensión, palos, trapos, rocas, hules, etc.

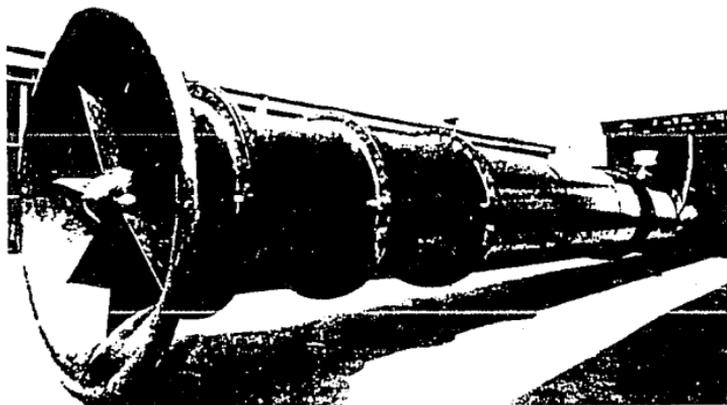
El desalojo de aguas negras de las grandes ciudades se puede efectuar por gravedad o bombeo. En el primer caso, se cuenta con un sistema que conduce las aguas a los ríos y, finalmente hasta el mar. La ventaja de este procedimiento reside en que no ocasiona altos costos de mantenimiento, aunque los costos de construcción suelen ser elevados.

En el caso de la Ciudad de México, situada en una cuenca cerrada a 2,240 m sobre el nivel del mar y construida sobre el lecho de un antiguo lago, este problema siempre ha sido difícil y actualmente se ha agravado debido al hundimiento de la ciudad.

**PARTES CONSTITUTIVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO QUE NOS OCUPA.-** Los datos de 6 equipos de 1,000 l.p.s. cada uno, centrífugos verticales, fueron prefijados con anterioridad. Los equipos, por ser para aguas negras, se especificarán con lubricación de aceite, pues resulta más confiable sin tener la restricción de la contaminación del agua.

Pensando en todo el tipo de objetos que frecuentemente atorán las flechas de impulsores de bombas de aguas negras, se pretenderá dejar el motor un poco sobrado. El tipo de bomba, por esta misma razón, se especificará del tipo axial (evitando el mixto), que cuenta con un paso de esfera mayor.

## BOMBA DE BOMBEO PARA AGUAS NEGRAS



Bombas verticales para desalojar las aguas negras de la ciudad de Méico.  
(Cortesía Worthington.)

El tipo de Cárcamo redondo para bombeo, fue seleccionado por el personal técnico de la DGCOH (DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA) por las ventajas que representa en su construcción estructural, no importando la poca experiencia y teoría que se tiene respecto a la operación de bombas en cárcamos circulares, pues el Instituto de Hidráulica Americano no trata con ellos.

Otras consideraciones que fueron planteadas al personal técnico de la DGCOH y que fueron prefijadas sin mayor estudio son las siguientes:

- ◆ En la época de estiaje trabajará una de las bombas existentes actualmente.

- ◆ El sistema de emergencia se proyectará con planta generadora accionada con combustible diesel, con capacidad para alimentar los 6 motores de 200 HP y 1 de 75 HP conectados al sistema.

- ◆ Por su cárcamo circular, no se instalará grúa pórtico, sólo se proveerá espacio suficiente para el mantenimiento de los equipos por medio de grúas hidráulicas móviles.

- ◆ Se requieren tanques y equipo para centrifugado de diesel.

- ♦ Se considerarán interruptores de nivel tipo Pera, para el arranque y paro automático de las bombas.
  
- ♦ El nivel máximo del agua en el cárcamo deberá considerarse 1.50 m. arriba de la plantilla del tubo de llegada.
  
- ♦ El nivel de plantilla del tubo de llegada al cárcamo de bombeo es de 6.54 m. abajo del nivel de plantilla de la losa del cárcamo.
  
- ♦ La descarga de los equipos será individual e irá cada equipo hasta el Canal Nacional, por medio de tubería de acero enterrada.

Los cálculos relacionados con el equipo de bombeo se suministran en un capítulo aparte.

Otro equipo que forma parte de este sistema de bombeo es la subestación eléctrica, y lo relacionado con ella (sistema diesel, red tierras, etc.). De modo que todo el arreglo del sistema se muestra en el plano siguiente.



## C A P I T U L O   I I

### SISTEMA DE FUERZA Y ALUMBRADO

Parte fundamental de este sistema de bombeo son las bombas y los motores que las mueven. Por lo tanto, a continuación damos algunos conceptos elementales de motores en general.

2.1 MOTORES ELECTRICOS.- Los dispositivos rotatorios de conversión de energía electromecánica son conocidos popularmente como máquinas rotatorias. Están clasificados como máquinas de corriente directa si sus salidas o entradas son de corriente directa, o si la energía de entrada a las máquinas proviene de una fuente de corriente directa. Se llaman máquinas de corriente alterna si sus salidas son periódicas o si la energía primaria de entrada proviene de una fuente de corriente alterna.

Una máquina rotatoria se llama generador si convierte energía mecánica en energía eléctrica y se llama motor si convierte energía eléctrica en mecánica. En principio, la misma máquina puede ser usada, ya sea como motor o generador, pero consideraciones de diseño práctico pueden favorecer su uso como motor o como generador. En otras palabras: mientras la función de un motor es la

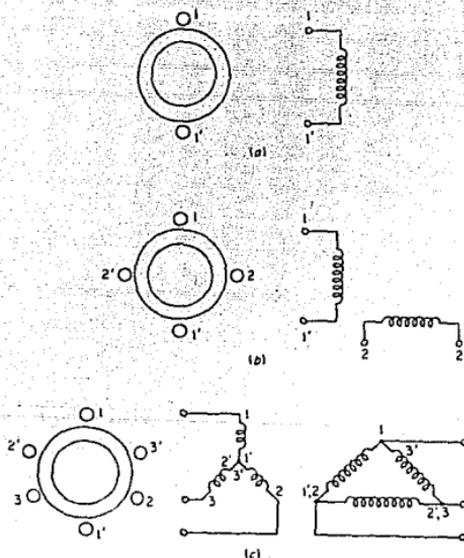
producción de un par mecánico, se generan fuerzas electromotrices en ciertas partes del dispositivo debido al movimiento. Similarmente, mientras la función de un generador es la generación de la fuerza electromotriz, se produce un par mecánico que se opone al movimiento en ciertas partes de la máquina.

La expresión "par motor" (en inglés "torque") se refiere a la fuerza de torsión que ejerce un árbol o eje conducido sobre una carga dada. Esta fuerza o par de torsión, cuando sea suficientemente grande, hará girar a la carga juntamente con el eje.

El eje de un motor síncrono produce también un par motor o de torsión cuando se hace girar el eje del generador. El campo magnético giratorio atrae al rotor del motor obligándolo a girar y haciéndole ejercer un par motor sobre cualquier carga conectada a su eje.

Las máquinas de corriente alterna se clasifican de diferentes formas: como máquinas monofásicas, bifásicas o trifásicas, dependiendo del tipo de fuente usada. Se clasifican también como: síncronas y asíncronas. Las máquinas síncronas derivan su nombre del hecho de que giran a una velocidad angular constante, la cual es llamada velocidad angular síncrona.

Una máquina síncrona consiste de un estator, el cual tiene un embobinado monofásico, bifásico o trifásico, como se muestra en la siguiente figura:



Arreglo de los embobinados en el estator de una máquina de corriente alterna.  
 (a) Un estator monofásico. (b) Un estator bifásico. (c) Un estator trifásico.

FIG. II.1

El rotor es cilíndrico y tiene piezas polares salientes o no salientes, las cuales tienen embobinados alrededor de ellos. Estos embobinados están conectados en serie, de

tal manera que cuando circula una corriente directa en estos embobinados, se crea un sistema de polos norte y sur. La velocidad angular del rotor, bajo condiciones normales de operación, permanece constante a la velocidad angular síncrona  $\omega_s$ , donde la magnitud de  $\omega_s$  está dada por:

$$\omega_s = \frac{2\omega_1}{P}$$

donde  $\omega_1$  es la frecuencia angular de los voltajes senoidales balanceados aplicados a los embobinados del estator y  $P/2$  es el número de pares de polos de la máquina. La frecuencia angular de  $\omega_1$  está en radianes eléctricos por segundo, mientras que  $\omega_2$  está en radianes mecánicos por segundo.

- ♦ **CLASIFICACION DE MOTORES (NEMA).**- El motor síncrono es el único que tiene velocidad constante absolutamente, mientras que los motores de inducción polifásicos de propósito general (NEMA clase A o B) y el motor de c-d en derivación de velocidad constante tienen velocidad cercanamente constante, siendo la regulación de velocidad menor que 10%. Hay seis motores clasificados por NEMA. La variación en las características se obtiene por el diseño de las ranuras del rotor y la relación de la reactancia a la resistencia.

NEMA Clase A - Motor de inducción jaula de ardilla de propósito general. Este es el más ampliamente usado de todos los motores industriales de potencia. El par motor de arranque varía con el número de polos, pero está entre 115 y 150% para motores de alta velocidad cuando se arrancan a tensión plena. Para satisfacer la restricción de la compañía de potencia en corriente de arranque, éste puede arrancarse a tensión reducida, si pueden satisfacerse los requisitos del par motor de arranque. La corriente de arranque a tensión plena estará entre 500 y 1,000% dependiendo del tamaño y de la velocidad nominal. Este motor tiene un par motor máximo muy elevado y, por lo tanto, funcionará a través de cargas máximas elevadas, pero si éstas son sostenidas, resultan sobrecalentamientos. Las características de este motor se obtienen por una baja resistencia del rotor de jaula de ardilla, con ranuras medias o profundas, semicerradas o completamente cerradas en la parte superior. Dondequiera que sea posible debe utilizarse este motor debido a su bajo costo inicial, bajo mantenimiento, rendimiento y factor de potencia elevados y deslizamiento bajo. Es prácticamente el equivalente del motor de c-d en derivación en características de funcionamiento.

NEMA Clase B - Motor de par motor de arranque normal, baja corriente de arranque. Las características designadas de este motor se obtienen colocando las barras del rotor en las ranuras más profundas y que tengan usualmente un rotor de arrollamiento doble, estando las barras de resistencia elevada para el arranque en la parte superior cerca del entrehierro. Esta construcción produce un par motor que tiene casi el mismo par motor de arranque o ligeramente mayor que el de la Clase A, con casi el 75% de la corriente de arranque de la Clase A, casi el mismo deslizamiento, pero par motor máximo ligeramente menor, y factor de potencia algo más bajo. Se utiliza cuando se desea la corriente de arranque de la línea y cuando se utilizan los límites de corriente máxima de arranque de la Clase A. El costo de este motor es ligeramente mayor que el de los motores de la Clase A.

NEMA Clase C - Motor de par motor de arranque elevado, baja corriente de arranque. Este motor tiene también un rotor de doble jaula, y tiene una corriente de arranque ligeramente menor que la Clase B, pero el par motor de arranque es mucho mayor, hasta 240%, y el par motor máximo es menor que el de la Clase A. En los motores de la Clase A y Clase B el par motor máximo excede al par motor de arranque, mientras que el motor de la Clase C produce su par motor máximo en el arranque. Esto puede -

ser importante en la aceleración de una carga, y este motor es útil especialmente en el manejo de una carga con una fricción excesiva en el arranque, tales como transportadores y compresores en tiempo frío. La capacidad de sobrecarga es menor que la Clase A. Este motor, arrancado a tensión reducida, puede utilizarse a menudo en lugar de uno del tipo de rotor devanado, para reducir las demandas de la corriente de arranque y producir una aceleración suave. El rendimiento es menor y el deslizamiento mayor que en los motores de la Clase A.

**NEMA Clase D.- Motor de deslizamiento elevado.** Estos motores están a menudo subdivididos por los fabricantes en régimen nominal intermitente de deslizamiento elevado y régimen nominal continuo de deslizamiento medio. El motor de deslizamiento medio se aplica a prensas cortadoras punzonadoras, cizallas, etc., que tienen volantes para proporcionar energía a la carga durante el golpe de trabajo. Este motor tiene el par motor de arranque mayor de todos los motores polifásicos, y la máxima capacidad de aceleración. Cuanto mayor sea el área entre las curvas par motor-velocidad del motor y de la carga, mayor es el par motor acelerante promedio. El uso de un deslizamiento claramente elevado en conexión con la inercia del volante, hace que este motor sea útil especialmente en cargas tales como una prensa cortadora -

punzonadora, donde el descenso lento durante el golpe de trabajo permite que la energía almacenada en el volante sea liberada a la carga, y que el motor la restablezca rápidamente al volante cuando se completa el golpe de trabajo. Esto atenúa las crestas en la potencia exigida de las líneas de potencia, considerando que si se usase un motor Clase A las crestas de potencia en las líneas serían mucho mayores. Estas características se obtienen en el diseño del rotor utilizando barras de resistencia elevada. Esto tiene como resultado un mayor deslizamiento y un rendimiento menor. Las densidades de flujo son usualmente mayores, y el factor de potencia menor que en los motores mencionados previamente. Los motores que tienen deslizamiento elevado en lugar de medio, se aplican a grúas y montacargas, y algunas veces a ascensores, donde el par motor de arranque requerido es usualmente alrededor de 250%. El deslizamiento a plena carga está entre 12 y 16%, y estos motores, como se mencionó previamente, se utilizan por lo general en cargas intermitentes, y designados en la base intermitente.

**NEMA Clase E y Clase F - Motores de velocidad elevada.**  
Estos motores son usualmente motores de velocidad elevada utilizados para conexión directa a ventiladores y bombas centrifugas donde es satisfactorio un par motor de

arranque bajo. Estos tienen deslizamiento bajo y rendimiento elevado. Los mismos resultados pueden obtenerse utilizando un motor Clase A de arranque a

tensión reducida, así que estas clases no se aplican ampliamente.

- ♦ **MOTOR ELECTRICICO DE INDUCCION.**- El motor eléctrico de inducción recibe este nombre porque opera bajo el principio de inducción electromagnética y se puede definir como una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. También se conocen como motores "Asíncronos".

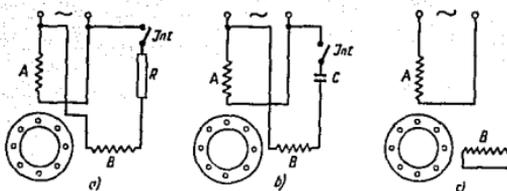
La velocidad "síncrona" no puede ser alcanzada por el motor de inducción, por ser la velocidad de las ondas electromagnéticas.

El campo de aplicación del motor eléctrico es muy extenso y compite ventajosamente con el de combustión interna por tener una vida económica mucho mayor; por su alta eficiencia, por su costo, operación y mantenimiento más bajos y por su versatilidad en capacidades y aplicaciones.

El motor eléctrico puede ser monofásico o trifásico de -

rotor devanado o de jaula de ardilla y de varios polos, de acuerdo con la frecuencia y la velocidad de operación.

**MOTOR MONOFASICO.** - El motor monofásico es utilizado en los casos en que la alimentación disponible así sea y cuando la potencia es pequeña.



Esquema de arranque de motores asincrónicos monofásicos:  
 a — en serie con el devanado de arranque está conectada una resistencia activa (motor de fase partida), b — en serie con el devanado de arranque está conectada una capacidad (motor de condensador), c — devanado de arranque — espiras en cortocircuito alojadas en las ranuras del estator (motor con polos en sombra)

Fig II-2

**MOTOR TRIFASICO.**- El motor trifásico es el más usado y se fabrica desde 1/2 HP hasta potencias de 2,000 HP o más, la ventaja sobre el monofásico es la de demandar menor corriente.

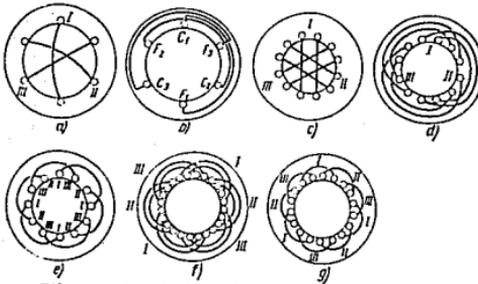
**MOTOR DE ROTOR DEVANADO.**- Recibe este nombre porque está devanado, se construye por paquetes de láminas troqueladas y ranuradas montadas sobre la flecha y las bobinas se devanan sobre las ranuras y su arreglo depende del número de polos y de fases.

**MOTOR DE ROTOR JAULA DE ARDILLA.**- El 90% de la fabricación de motores es de rotor jaula de ardilla, en este caso el bobinado está constituido por barras fundidas de aluminio, quedando unidas entre sí en corto circuito.

- ♦ **ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN MOTOR DE INDUCCION.**- Fundamentalmente, el motor de inducción está constituido por los siguientes elementos:

- a) Estator
- b) Rotor
- c) Carcasa

## COMPONENTES DE UN MOTOR ASINCRONO



Diferentes tipos de devanados del estator de un motor asincrónico

## Motor asincrónico de rotor bobinado:

a — aspecto exterior, b — corte longitudinal del motor, la mitad superior corresponde a la ejecución para  $n = 1.500$  r.p.m.; la inferior, para  $n = 1.000$  r.p.m.; 1 — árbol, 2 — acero del rotor, 3 — devanado del rotor, 4 — acero del estator, 5 — devanado del estator, 6 — armazón del estator, 7 — cojas para cojinetes, 8 — ventilador, 9 — anillos rozantes (colectores), 10 — empuñadura para levantar las escobillas

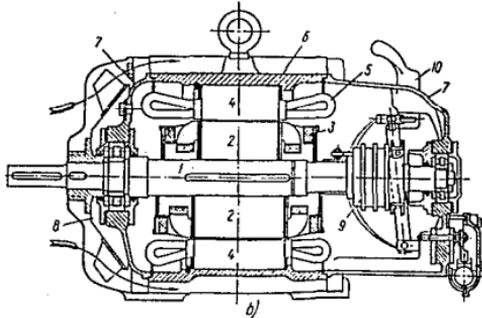
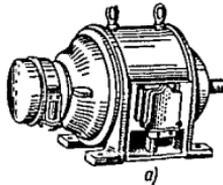
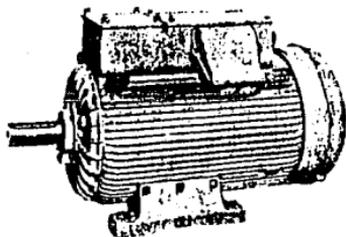
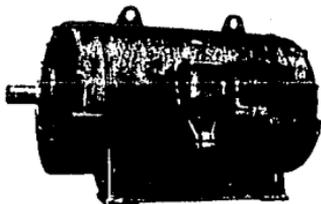


Fig II-3

## DIFERENTES TIPOS DE MOTORES

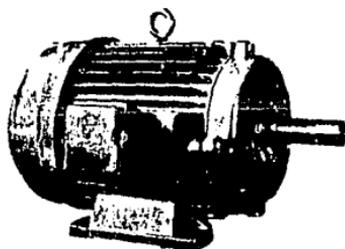


MOTOR DE ANILLOS ROZANTES

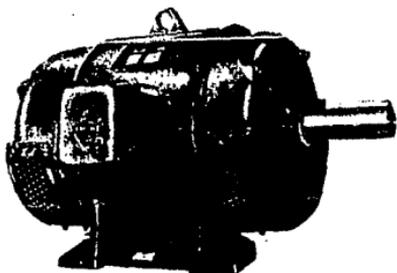


MOTOR MARCA "SIEMENS" DE ALTA TENSION

## MOTORES DE INDUCCION



## MOTOR DE INDUCCION TOTALMENTE CERRADO



## MOTOR DE INDUCCION PROTEGIDA

Fig.II-5

**ESTATOR.**- El estator representa una de las partes del circuito magnético y está formado por paquetes de láminas de acero al silicio troqueladas y ranuradas, con el objeto de que el bobinado del estator pueda alojarse en las ranuras y, a semejanza del transformador, el estator forma el circuito primario.

**ROTOR.**- El rotor es la parte móvil del motor y la que transmite, por medio de la flecha, la energía mecánica a la carga y, en forma análoga, al transformador representa el circuito secundario.

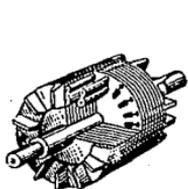


Fig. 230. Rotor con doble jaula de aluminio

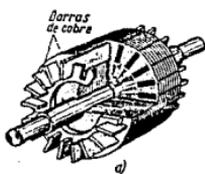
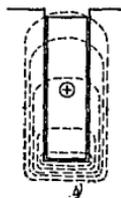


Fig. 231. Rotor con ranura profunda:  
a -- aspecto general con corte parcial, b -- corte de una ranura



## MOTOR JAULA DE ARDILLA

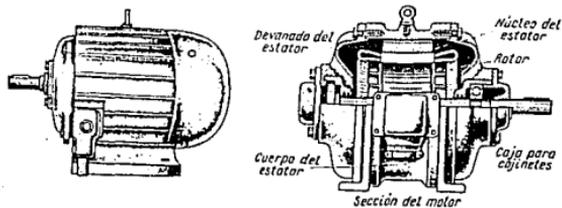


Fig. 225. Aspecto general y corte de un motor asincrónico con rotor de jaula de ardilla

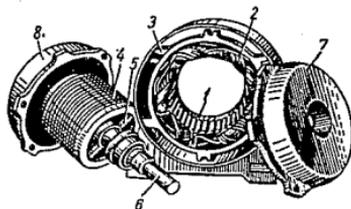


Fig. 226. Motor asincrónico con rotor de jaula de ardilla desarmado

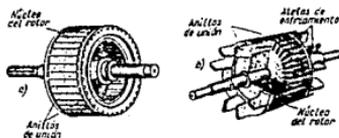


Fig. 227. Aspecto exterior y corte parcial de un rotor de jaula de ardilla: a - rotor con devanado en «jaula de ardilla», b - rotor en cortocircuito revestido de aluminio

CARCASA.- La carcasa recibe también el nombre de soporte, por ser el elemento que contiene al estator y rotor.

- ♦ **CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION.-** Los motores de inducción se clasifican en motores con rotor jaula de ardilla y rotor bobinado. Los motores con rotor jaula de ardilla han sido clasificados por la Asociación Nacional de Manufactureras Eléctricas (NEMA) de Estados Unidos, como sigue:

1. Tipo A, motores de par normal y corriente de arranque normal.
2. Tipo B, motores de par normal y corriente de arranque reducida.
3. Tipo C, motores de par elevado y corriente de arranque reducida.
4. Tipo D, motores con gran deslizamiento.
5. Tipo F, motores con par de arranque y corriente de arranque reducidos.

Los motores que se utilizan para accionar los equipos de bombeo son de tipo NEMA B, estos motores son los más usados de todos los tipos y tienen un deslizamiento a

plena carga, menor del 5%.

**PRINCIPIO DE OPERACION DEL MOTOR DE INDUCCION.-** Si se aplica tensión a las terminales del estator se produce una fuerza magnetomotriz, uniforme y giratoria. Si, por ejemplo, el rotor es jaula de ardilla, en cada barra se induce una fuerza magnetomotriz de sentido opuesto que hace circular una corriente, produciéndose un par que hace girar al rotor.

**VELOCIDAD DEL MOTOR.-** La velocidad del motor depende única y exclusivamente de la frecuencia y del número de polos y se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

donde:

$N_s$  = Velocidad síncrona en revoluciones por minuto  
 $f$  = Frecuencia en ciclos por segundo (cps)  
 $P$  = Número de polos

Así, por ejemplo, si el número de polos es dos:

para 50 cps:

$$N_s = \frac{50 \times 120}{2} = 3,000 \text{ RPM}$$

para 60 cps:

$$N_s = \frac{60 \times 120}{2} = 3,600 \text{ RPM}$$

Si el número de polos es cuatro:

$$\text{para } 50 \text{ cps: } N_s = \frac{50 \times 120}{4} = 1,500 \text{ RPM}$$

para 60 cps:

$$N_s = \frac{60 \times 120}{4} = 1,800 \text{ RPM}$$

## 2.2 CONSIDERACIONES BASICAS SOBRE MOTORES ELECTRICOS

◆ CONSIDERACIONES SOBRE AMBIENTE.- Se consideran "Condiciones de ambiente normales" de un motor estándar, las siguientes:

1. Temperatura no mayor de 40° C, ni inferior a 10° C.
2. Altitud no mayor a 1,000 m S.N.M., ni inferior al N.M.
3. Montaje o localización en lugares que permitan la libre circulación del aire limpio y seco para ventilación del motor.
4. Montaje o localización en un lugar que permita el

acceso para inspección, lubricación, mantenimiento y maniobras.

En los motores destinados a operar en altitudes comprendidas entre 1,000 y 4,000 m S.N.M., se debe afectar su temperatura máxima de operación, reduciéndola a razón de 1% por cada 100 m de altitud en exceso de los 1,000 m considerados como normales.

- ◆ CONSIDERACIONES SOBRE DISEÑO ELECTRICO.- Para aplicar un motor a una máquina, es necesario conocer la velocidad y el par o momento de torsión requeridos para mover dicha máquina.

El par motor disponible se determina con la fórmula siguiente:

$$T = \frac{HP \times 5252}{RPM}$$

donde:

T = Par motor disponible en Lb-pie (multiplicar por 0.1383 para convertir a kg-m)

HP = Caballos de potencia

5252= Constante para medidas en el sistema inglés.

- ◆ **DESLIZAMIENTO.-** El deslizamiento se define como la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor y se expresa por medio de la siguiente fórmula.

$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

donde:

donde:

$N_s$  = Velocidad síncrona en rpm

$N_r$  = Velocidad del rotor en rpm

$\%S$  = Por ciento de deslizamiento

(el deslizamiento máximo permisible es del 15%)

- ◆ **CONSIDERACIONES SOBRE DISEÑO MECANICO.-** Un motor necesita la circulación de aire por su interior, para eliminar el calor producido al operar; si no existe ningún obstáculo para la circulación del aire que los indispensables por la construcción mecánica, el motor se denomina "de tipo abierto".

- ◆ **TIPOS DE CARCASA MAS FRECUENTES.-**

1. Motores protegidos contra goteras
2. Motores protegidos contra salpicaduras
3. Motores totalmente cerrados

#### 4... Motores a prueba de explosión

Los motores de inducción utilizados para accionar equipos de bombeo son a prueba de goteo.

♦ TIPOS DE AISLAMIENTO.- Clasificación térmica de los aislamientos según el Instituto Americano de Ingenieros Electricistas, American Institute of Electrical Engineers (AIEE).

Los materiales para aislamiento se han clasificado en seis clase, que son: Y, A, B, F, H y C. Los de la clase "Y" anteriormente se conocían como clase "O".

#### DESCRIPCION DE CADA CLASE DE MATERIAL AISLANTE.-

CLASE "Y" (ANTES "O").- Se componen de algodón, seda, papel y materiales orgánicos, similares que pueden trabajar a una temperatura de 90° C.

CLASE "A".- Los aislamientos de la clase A se componen de algodón, seda, papel con impregnación o sumergidos en un líquido dieléctrico. El aislamiento clase A puede operar con temperaturas de 105° C.

CLASE "B".- Los aislamientos de la clase B están compuestos por materiales tales como mica, fibra de

vidrio, asbesto, etc., con sustancias adherentes adecuadas. La temperatura de operación del aislamiento clase B es de 130° C.

**CLASE "F".-** Los aislamientos de la clase F constan de materiales como mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con sustancias adherentes adecuadas. La temperatura de operación del aislamiento clase F es de 155° C.

**CLASE "H".-** Los aislamientos de la clase H los forman materiales o combinaciones de materiales como mica, silicón, elastómeros, fibra de vidrio, asbestos, etc., con sustancias adherentes adecuadas como resinas de silicón. La temperatura de operación del aislamiento clase H es de 180° C.

**CLASE "C".-** Los aislamientos de la clase C consisten íntegramente de mica, porcelana, vidrio, cuarzo y materiales inorgánicos similares. La temperatura de operación del aislamiento clase C es de 220° C o más.

Las clases de aislamiento más usadas en motores eléctricos, transformadores y arrancadores son: A, B, F y H; y la que se usa preferentemente es la clase B.

**2.3 CONDUCTORES.-** Los conductores eléctricos son aquellos

materiales que ofrecen poca oposición o resistencia al paso de la corriente eléctrica por o a través de ellos.

Todos los metales son buenos conductores de la electricidad; sin embargo, unos son mejores que otros, es por ello que aquí se indican solamente algunos, nombrándolos en orden decreciente en cuanto a calidad como conductor y haciendo la aclaración correspondiente a su empleo:

#### **PLATA**

Es el mejor conductor, pero su uso se ve reducido por su alto costo.

#### **COBRE**

Después de la plata, el cobre electrolíticamente puro es el mejor conductor eléctrico, se le emplea en más del 90% de la fabricación de conductores eléctricos, porque reúne las condiciones deseadas para tal fin, tales como:

- a) Alta conductividad
- b) Resistencia mecánica
- c) Flexibilidad
- d) Bajo costo

Dentro de los mismos conductores de cobre, existen tres tipos, dependiendo su clasificación según su temple:

### 1) Conductores de cobre suave o recocido

Por su misma suavidad, tiene baja resistencia mecánica, alta elongación (aumento accidental de la longitud), su conductividad eléctrica es del 100%.

Usos.- Con su aislamiento como protector, se utilizan en instalaciones tipo interior, dentro de ductos, tubo conduit, engrapados sobre muros, etc.

### 2) Conductores de cobre semiduro

Tienen mayor resistencia mecánica que los conductores de cobre suave, menor elongación y su conductividad eléctrica es de aproximadamente 96.66%.

Usos.- Sin aislamiento protector, para líneas de transmisión con distancias interpostales o claros cortos y para redes de distribución, en ambos casos sobre aisladores.

### 3) Conductores de cobre duro

Tienen alta resistencia mecánica, menor elongación que los de cobre semiduro, y una conductividad eléctrica no menor de 96.16%.

Usos.- Se utiliza normalmente en líneas aéreas.

**ORO**

Después de la plata y el cobre, el oro es el mejor conductor de la electricidad

**ALUMINIO**

Es otro buen conductor eléctrico, sólo que por ser menos conductor que el cobre (61% respecto al cobre suave o recocido), para una misma cantidad de corriente se necesita una sección transversal mayor en comparación con conductores de cobre, además tiene la desventaja de ser quebradizo. Se usa con regularidad en líneas de transmisión reforzado en su parte central interior con una guía de acero. A mayor sección transversal de los conductores eléctricos, es mayor su capacidad de conducción de corriente.

Después de un estudio exhaustivo de todos y cada uno de los métodos para diferenciar las áreas trasversales (calibres) de los conductores eléctricos y observando la fácil interpretación de la nomenclatura presentada por la compañía American Wire Gauge\* (AWG) ésta fue adoptada, por lo que para los calibres de los conductores eléctricos se les antecede la leyenda CALIBRE No. A.W.G. ó M.C.M.

Las siglas MCM nos están indicando el área transversal de los conductores eléctricos en "Mil Circular Mills".

Equivalencia en el calibre en A.W.G. ó M.C.M.:

Se dice que se tiene un (circular-mil) C.M. cuando el área transversal tiene un diámetro de una milésima de pulgada

$$1 \text{ C.M.} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.1416 (0.001)^2}{4} = 7.85 \times 10^{-7} \text{ pulg}^2$$

$$1 \text{ pulg}^2 = \frac{1}{7.85 \times 10^{-7}} \text{ C. M.} = 1.27 \times 10^6 \text{ C.M.}$$

$$1 \text{ pulg}^2 = (25.4) \text{ mm}^2 = 645.16 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ mm}^2 = \frac{1}{645.16} \text{ pulg}^2 = \frac{1.27 \times 10^6}{645.16} \text{ C. M.}$$

$$1 \text{ mm}^2 = 196850.3937$$

Debido al error admisible, para cálculos de los conductores eléctricos se considera aproximadamente:

$$1 \text{ mm}^2 = 2000 \text{ C. M.}$$

$$1 \text{ mm}^2 = 2000 \text{ Circular Mil}$$

$$1 \text{ mm}^2 = 2 \text{ Mil Circular Mills ( 2 M.C.M.)}$$

Conociendo el significado de A.W.G. y la equivalencia

entre  $\text{mm}^2$  y C. M., se consulta la siguiente tabla que establece el diámetro y área del cobre y según calibre de los conductores eléctricos, así como también el diámetro total, incluyendo el aislamiento.

NUMERO MAXIMO DE CONDUCTORES EN TUBO CONDUIT

TIPO DE CONDUCT.	CALIBRE DE CONDUCT AWG MCM	DIAMETRO NOMINAL DE TUBO ( m m )										
		13	19	25	32	36	41	49	63	76	89	102
Y	14 #	9	16	25	46	61						
	14	8	14	22	39	54						
Y W	12 #	7	12	20	35	48	78					
	12	6	11	17	30	41	68					
Y	10 #	5	10	15	27	37	61					
	10	4	8	13	23	32	52					
Y H W	8	2	4	7	13	17	28	40				
R H W	14 #	6	10	18	29	40	65					
	14	5	9	15	26	36	59					
R H H	12 #	4	8	13	24	33	54					
	12	4	7	12	21	29	47					
SIN CUBIERTA EXTERIOR	10 #	4	7	11	19	26	43	61				
	10	3	6	9	17	23	38	55				
Y	8	1	3	5	10	13	22	32	49			
	8	1	2	4	7	10	18	23	36	48		
Y W	4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	47	
	2	1	1	2	4	5	19	13	20	27	34	
Y H W	1 / 0		1	1	2	3	5	8	12	16	21	
	2 / 0		1	1	1	3	5	7	10	14	18	
Y	3 / 0		1	1	1	2	4	6	9	12	15	
	4 / 0		1	1	1	1	3	5	7	10	13	
SIN CUBIERTA EXTERIOR	250			1	1	1	2	4	6	8	10	
	300				1	1	2	3	5	7	9	
	350				1	1	1	3	4	6	8	
	400				1	1	1	2	4	5	7	
	500				1	1	1	1	3	4	6	

\* ALAMBRE

TABLA II-I

NUMERO MAXIMO DE CONDUCTORES QUE PUEDEN ALOJARSE EN TUBO  
CONDUIT

TIPO DE CONDUIT	CALIBRE DE CONDUIT AWG MCM	DIAMETRO NOMINAL DE TUBO ( mm )									
		13	19	25	32	38	51	63	76	89	102
R N W	14	3	6	10	16	25	41	58			
	14	3	6	9	17	23	38	53			
	12	3	5	9	16	21	35	50			
	12	3	5	8	14	19	32	45			
	10	2	4	7	13	18	29	41			
	10	2	4	6	12	15	25	37			
Y	8	1	2	4	7	9	16	22	30	47	
	8	1	1	2	5	7	11	15	24	32	41
	4	1	1	1	3	5	8	12	16	24	31
	2		1	1	3	4	7	9	14	19	24
R N H	1 / 0		1	1	1	2	4	6	9	12	16
	2 / 0			1	1	2	3	5	8	11	14
	3 / 0			1	1	1	3	4	7	9	12
	4 / 0			1	1	1	2	4	6	8	10
CUBIERTA EXTERNA OR: 1	250				1	1	1	3	5	8	9
	300				1	1	1	3	4	5	7
	350				1	1	1	2	4	5	6
	400				1	1	1	1	3	4	6
	500				1	1	1	1	3	4	5
T N W	14	13	24	37	66						
	14	11	20	32	57						
	12	10	18	28	49	67					
	12	8	15	23	42	67					
	10	8	11	18	32	43	71				
	10	5	9	15	26	36	66				
T N W	8	3	5	9	15	21	35	49			
	6	2	4	8	11	15	25	36	56		
	4	1	2	4	7	9	16	22	34	48	
	2	1	1	3	5	7	11	16	25	33	42
Y	1 / 0		1	1	3	4	7	10	16	20	26
	2 / 0		1	1	2	3	6	8	13	17	22
	3 / 0		1	1	1	3	5	7	11	14	19
	4 / 0			1	1	2	4	6	9	12	15
T N W	250			1	1	1	3	4	7	10	12
	300			1	1	1	3	4	6	8	11
	350			1	1	1	2	3	5	7	9
	400			1	1	1	1	3	5	6	8
	500			1	1	1	1	2	4	5	7
* CARLOS											

TABLA II-1 (CONTINUACION)

## CONTINUACION TABLA II-I

	CALIBRE		AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL ( m . m <sup>2</sup> )	NUMERO DE HILOS	RESISTENCIA ELECTRICA	
	A W G	M C M			C. D.	20° C
A L A M B R E	1.6		0.823			2.10
	1.8		1.308			1.32
	1.4		2.08			0.827
	1.2		3.21			0.522
	1.0		5.26			0.328
C	1.8		0.823	7		2.13
	1.6		1.308	7		1.342
	1.4		2.08	7		0.845
	1.2		3.21	7		0.532
	1.0		5.26	7		0.335
A	8		8.37	7		2.10
	6		13.30	7		1.322
B	4		21.13	7		0.830
	2		33.8	7		0.523
L	1/0		33.5	19		0.329
	2/0		87.4	13		0.261
	3/0		85.0	19		0.207
	4/0		107.2	19		0.1640
E	250		186.7	37		0.1390
	300		152.0	37		0.1157
	350		177.4	37		0.0981
	400		202.7	37		0.0867
	500		253.3	37		0.0695
S	600		304.1	81		0.0578
	750		380.0	81		0.0463
	1000		508.7	81		0.0348
	1250		633.1	91		0.0278
	1500		760.1	91		0.0232

La tabla anterior está basada en el calibre de los conductores de cobre desnudo y con aislamiento tipo TW, THW, VINANEL 900 y VINANEL-NYLON, pero tomando en cuenta que no siempre se tienen las mismas condiciones de trabajo se necesitan, en la mayoría de los casos, conductores con aislamiento apropiado para la temperatura, tensión y demás características según el tipo de trabajo y medio ambiente.

Por lo tanto, al escoger un conductor deben tomarse en cuenta:

- Limitaciones por temperatura
- Locales húmedos
- Condiciones impuestas por la corrosión

♦ TIPOS DE AISLAMIENTO DE CONDUCTORES DE BAJA TENSION.-

[TW] Conductores de cobre suave o recocado, con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC): por las iniciales TW (del inglés), se tiene un aislamiento termoplástico a prueba de humedad.

Se utiliza en instalaciones eléctricas en el interior de locales con ambiente húmedo o seco.

[THW] Conductores de cobre suave, con aislamiento de goma (plastilac), por las iniciales THW (en inglés), se tiene un aislamiento termoplástico resistente al calor y a la humedad. Con este aislamiento, los conductores tienen mayor capacidad de conducción que con TW, aunque éstos ocupan mayor espacio dentro de los ductos, pero pueden funcionar de la misma forma si se les considera el factor de relleno.

[VINANEL 900] Conductor de cobre suave, con aislamiento especial de cloruro de polivinilo (PVC), resistente al calor, a la humedad y a los agentes químicos; no propaga las llamas, gran capacidad de conducción de corriente eléctrica con este aislamiento, por lo tanto se pueden ahorrar calibres en muchas ocasiones. Ocupa el mismo espacio que los aislamientos TW y THW dentro de los ductos, además, resiste en forma única las sobrecargas continuas.

Se usa generalmente en industrias, edificios públicos, hoteles, bodegas, en fin, en instalaciones donde se requiere mayor seguridad.

[VINANEL-NYLON] Conductores de cobre suave con aislamiento, formado por dos capas termoplásticas; la primera es de cloruro de polivinilo (PVC) de alta rigidez dieléctrica, gran capacidad térmica y notable

flexibilidad; la segunda es de nylon, de alta rigidez dieléctrica y gran resistencia mecánica.

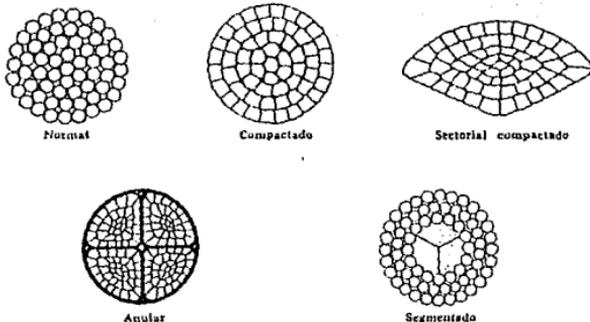
El aislamiento tipo "VINANEL-NYLON" es resistente a la humedad, el calor, a los agentes químicos, tiene muy bajo coeficiente de fricción, no propaga las llamas, da a los conductores gran capacidad de conducción de corriente, además de ocupar menos espacio con respecto a los aislamientos tipo TW, THW y VINANEL 900, lo que reduce notable ahorro de grandes diámetros de tubería.

Tiene aplicación universal en circuitos de baja tensión, pueden utilizarse como alimentación de secundarios de transformadores a tablero general, alambrado de tableros de distribución en baja tensión, circuitos de alambrado y fuerza, acometidas y alambrado interior de maquinaria, conexión de controles, etc.

**CONDUCTORES AISLADOS PARA ALTA TENSION.-** Se dice que un conductor es para alta tensión cuando su aislamiento puede operar sin ningún peligro arriba de 1000 volts, clasificándose cuatro grupos como sigue:

- 1) Conductores para distribución industrial
- 2) Conductores para distribución residencial
- 3) Conductores para subtransmisión
- 4) Conductores para transmisión

Los conductores para alta tensión pueden ser de cobre o aluminio, ya sea en forma de alambre sólido o con varios conductores en forma de cable, cuya fabricación puede adaptarse a las siguientes figuras:



- ♦ CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL CONDUCTOR ELECTRICO.- El Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas establece que el alimentador de un motor eléctrico debe ser capaz de conducir el 125% de la corriente a plena carga.

La corriente a plena carga de un motor eléctrico de

inducción se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$I_{pc} = \frac{HP \times 746 \text{ watts}}{\sqrt{3} \times E \times F.P. \times N}$$

Donde:

HP: Potencia del motor

746 W: Es el valor de 1 HP

$\sqrt{3}$ : Para sistemas trifásicos

E: Es el voltaje entre fases del motor en volts

F.P.: Factor de potencia

N: Eficiencia del motor

$I_{pc}$ : Corriente a plena carga del motor en Amp.

$I_c$ : 1.25  $I_{pc}$

$I_c$  = Corriente del conductor alimentador

Quando se trata del cálculo de un conductor que alimenta varios motores, la capacidad del conductor se determina tomando el 125% de la corriente a plena carga del motor de mayor potencia, más la suma de las corrientes a plena carga de los demás motores.

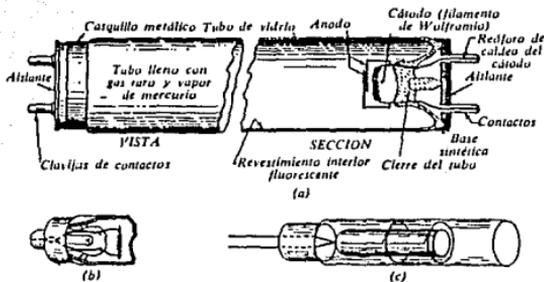
$$I_c = 1.25 I_{pc} \text{ motor mayor} + I_{pc1} + I_{pc2} + \dots I_{pcN}$$

#### 2.4 ALUMBRADO.- Objeto de la instalación de alumbrado:

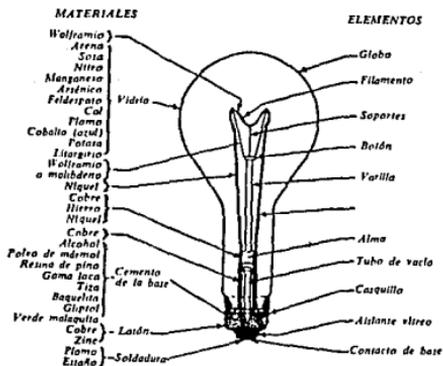
Las lámparas, con todos sus accesorios, se colocan en los interiores con dos finalidades principales: en primer lugar, para hacer visibles los objetos, y en segundo, para obtener efectos agradables y decorativos.

El alumbrado se considera que es una parte integral del proyecto arquitectónico, un elemento en la estructuración de los edificios. Esto crea problemas en la disposición, detalles, las necesidades y la importancia de las lámparas. El verdadero significado del alumbrado consiste en aprovechar las cualidades inherentes a las lámparas eléctrica, incandescentes y fluorescentes, hasta el máximo.

La mayor parte de la iluminación de interiores la proporcionan lámparas fluorescentes e incandescentes de varios tipos y tamaños, con los aparatos corrientes, bien adaptados y eficientes para dirigir y regularizar la luz procedente de aquellas lámparas. Las siguientes figuras indican la disposición general, los elementos y los materiales de estos tipos de lámparas.



Detalles de construcción de una lámpara fluorescente. Los dos extremos son idénticos. Tipo (a) lámpara de cátodo caliente de arranque por precalentamiento; (b) de cátodo caliente para encendido instantáneo; (c) de cátodo frío para encendido instantáneo. Véase el *IES Lighting Handbook* para más detalles.



Materiales y elementos componentes de una lámpara de incandescencia.

Fig. II-9

Estas características han sido obtenidas, entre otras razones, gracias a la aplicación de los recomendados códigos de práctica publicados por la Illuminating Engineering Society (IES). La mayor parte de los fabricantes de lámparas y aparatos de iluminación han cooperado con la IES, el National Bureau of Standards (NBS), la American Standard Association (ASA) y otras asociaciones.

Se fabrican otros tipos de lámparas, aparatos y accesorios para casos especiales de alumbrado, incluyendo los usados para los proyectores cinematográficos, fotografía, escaparates, señales, calefacción radiante, etc.

#### ◆ LAMPARAS FLUORESCENTES

Las lámparas fluorescentes han adquirido gran importancia en el campo de la iluminación. En la actualidad los aparatos que utilizan lámparas fluorescentes se construyen de dos tipos: directo e indirecto.

Una de las ventajas más importantes de las lámparas fluorescentes sobre las incandescentes es la de que las primeras tienen una duración de 7,500 horas contra 1,000 horas de las incandescentes; y que la cantidad media de lúmenes por vatio consumido es del 200 al 400% mayor en las fluorescentes que en las incandescentes.

**FUNCIONAMIENTO:** Una lámpara fluorescente se compone de tubo de vidrio que contiene una pequeña cantidad de mercurio y una pequeña cantidad de gas argón o criptón para facilitar la formación de arco. Después que el arco se ha formado, el vapor de mercurio emite una radiación ultravioleta, la mayor parte de la cual tiene una longitud de onda de 2,537 Angstroms. Esta radiación es invisible y no atraviesa el vidrio. Sin embargo, activa el polvo fluorescente con el cual se ha recubierto la cara interior de las paredes del tubo, y ese polvo absorbe y vuelve a radiar la energía a frecuencia visible. Mezclando varias calidades de polvos se produce una amplia gama de luz visible.

◆ **LAMPARAS INCANDESCENTES**

Consisten en una bombilla de vidrio montada sobre un casquillo de latón, con rosca, que se introduce dentro de un portalámparas normalizado, formando contacto eléctrico. La bombilla contiene un alambre de wolframio o un filamento de carbón que están conectados por sus extremos con las superficies de contacto del casquillo, completando de este modo el circuito eléctrico. El filamento ofrece una elevada resistencia al paso de la corriente y, en consecuencia, se calienta hasta alcanzar la incandescencia.

Las lámparas de incandescencia se fabrican de diversos tamaños, formas y potencias luminosas. Los casquillos se

adaptan a los portalámparas normalizados y pueden ser en forma de roscas, medio, intermedio, mogal, miniatura, bayoneta y candelabro. El vidrio puede ser claro o deslustrado por su cara interna. El vidrio azul claro se usa para absorber exceso de radiaciones rojas y anaranjadas y para producir el efecto de la luz diurna cuando así se necesite.

## 2.5 ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION PARA LA INSTALACION ELECTRICA DE ESTE PROYECTO.-

### NORMAS

A) Excepto donde se indique de otra forma, todo el trabajo y materiales deberán cumplir con los requisitos de las normas y códigos mexicanos:

- Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (NTIE).
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica (CCONNIE).

B) Cualquiera de las siguientes normas internacionalmente reconocidas serán aceptables en los aspectos no cubiertos por las normas anteriores:

- American National Standard Institute (ANSI).
- National Electrical Manufacturer's Association (NEMA)
- National Electrical Code (NEC)
- American Standard Association (ASA)
- International Electrotechnical Commission (IEC)

- Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE)

### CANALIZACIONES

A) Los tubos conduit deberán ser cortados en escuadra por medio de una herramienta diseñada específicamente con este propósito.

B) Los extremos de los conduits deberán ser biselados y roscados correctamente con terraja, debiéndose empalmar los tramos de tubo mediante coples comerciales.

C) El número de empalmes deberá ser el mínimo practicable.

D) Los tubos deberán limpiarse para prevenir la presencia de rebabas, obstrucciones, cemento o cualquier otro material que pueda dañar al cable.

E) El radio de curvatura de los dobleces de los conduits no deberá ser menor al especificado en la siguiente tabla:

Diámetro nominal del conduit	Radio mínimo de curvatura
13 mm	100 mm
19 mm	125 mm
25 mm	150 mm
32 mm	200 mm
38 mm	250 mm
51 mm	300 mm
63 mm	375 mm
76 mm	450 mm
101 mm	600 mm
152 mm	900 mm

El radio especificado deberá tomarse como radio interno.

F) Los dobleces de la tubería se efectuarán en frío. En ningún caso deberán ser calentados.

G) El conduit deberá mantener una sección transversal uniforme a lo largo de las curvas. La variación en diámetro en cualquier punto de la curva no debe exceder del 10% respecto al original.

H) Los conduits deberán asegurarse a las cajas accesorios, de tal manera, que todo el sistema de conduit sea eléctricamente continuo.

I) Todos los conduits expuestos deberán seguir caminos paralelos o en ángulos rectos o paredes, trabes, columnas, etc. y serán adecuadamente soportados para tener una instalación rígida y de buena apariencia.

J) Los conduits aparentes deberán soportarse para prevenir excesiva deflexión. En general, deberán sujetarse a cada 3 m. Deberán proveerse soportes a cada lado de cualquier curva o codo y a no más de 1 m. de toda salida.

K) Los conduits deberán espaciarse en sus soportes suficientemente, de modo que los condulets sean accesibles para jalar los cables o hacer empalmes.

L) Los soportes de conduits deberán fijarse al concreto por medio de taquetes de expansión o barrenanclas, anclas para herramienta de explosión o mediante anclas colocadas antes de fraguar el concreto. Los conduits o accesorios por ningún motivo podrán soldarse a alguna estructura.

M) Donde el conduit sea soportado por miembros de acero estructural u otra forma de soporte con agujeros, estos agujeros deberán ser hechos debidamente taladrados.

N) Las abrazaderas y los soportes para varios conduits del tipo estándar son aceptables, excepto en conduits

instalados sobre soportes sujetos a vibración o movimiento, en donde deben emplearse pernos U.

N) Deberán fijarse placas resistentes a la corrosión en ambos extremos de todos los conduits, con la identificación del conduit.

O) Todos los ductos subterráneos deberán seguir la ruta más directa de un punto a otro. El radio de curvatura no deberá ser menor de 10 veces el diámetro interno.

P) Los ductos subterráneos deberán ser ahogados en concreto coloreado de rojo, con un espesor mínimo de 10 cm. en todos los lados. Un espaciamiento mínimo de 4 cm. se deberá mantener entre los ductos del banco. El espacio entre los ductos deberá ser totalmente llenado.

El concreto para este trabajo deberá contener al menos 5 kg. de óxido rojo por  $m^3$  y deberá ser de la mezcla 1:3:6, sin que exceda el agregado 1/2" en tamaño.

Cuando los ductos salgan al exterior, la cubierta de concreto deberá prolongarse 10 cms. sobre el nivel del piso, dejando la cara superior inclinada para evitar acumulación de agua.

Q) Los conduits que entran o salen de registros o

trincheras deberán proyectarse por lo menos 2.5 cm. sobre la superficie de ellos.

R) Todos los conduits que entran a tableros, cajas o instalaciones similares deberán sujetarse mediante contratuerca y monitor.

S) Los ductos entre registros deberán instalarse con inclinación en ambos sentidos desde el punto medio, para que tengan drenaje apropiado.

#### CONDUCTORES

A) En caso de canalizaciones por medio de charolas, se deberán alinear los conductores haciendo amarres con cinta o hilo de plástico a intervalos de 1.50 m. como máximo y colocar estratégicamente etiquetas de identificación.

B) Los conductores deberán identificarse en el campo con cinta numerada, con el número del circuito. Deberá hacerse en cada extremo y en puntos intermedios de conexión.

C) La instalación de los cables alimentadores o de interconexión de un equipo, incluye la conexión adecuada a las terminales de dicho equipo, debiendo suministrar el contratista los materiales requeridos para este trabajo,

como zapatas, tornillos, cinta aislante, etc.

La instalación eléctrica de la estación de bombeo "El Hueso" se proyectó para alimentar 6 motores de 200 HP y otro de 75 HP de capacidad, como reserva.

La acometida eléctrica de la Compañía suministradora (C.F.E.) será en 23 KV, 3  $\phi$ , 3H, 60 CPS.

La medición de energía eléctrica por parte de la C.F.E. se efectuará en alta tensión.

#### SELECCION DEL TIPO DE MOTOR

Analizando las características de los motores síncronos y de inducción, se concluye que el motor de inducción presenta ventajas en sencillez, resistencia mecánica y poco mantenimiento, por lo que el motor seleccionado es del tipo de inducción, con rotor jaula de ardilla para montaje vertical.

#### SELECCION DE LA CAPACIDAD DEL MOTOR

La capacidad del motor debe adecuarse con la potencia requerida por la máquina accionada. Sin embargo, cuando no hay ninguna potencia estándar adecuada completamente a ella, se debe seleccionar la potencia inmediata superior. Para este proyecto los motores fueron seleccionados, previo análisis, por el personal de la D.G.C.O.H. y estos

motores fueron seleccionados con capacidad de 200 HP.

La selección del número de polos depende de la velocidad requerida por la carga. La velocidad de la bomba centrífuga seleccionada es de 880 rpm

$$\begin{aligned} \text{velocidad síncrona} &= \frac{Fr \text{ (Hz)}}{\text{No. polos}} \times 120 \\ \dots \text{ vel. sín.} &= \frac{60}{8} \times 120 = 900 \text{ rpm} \end{aligned}$$

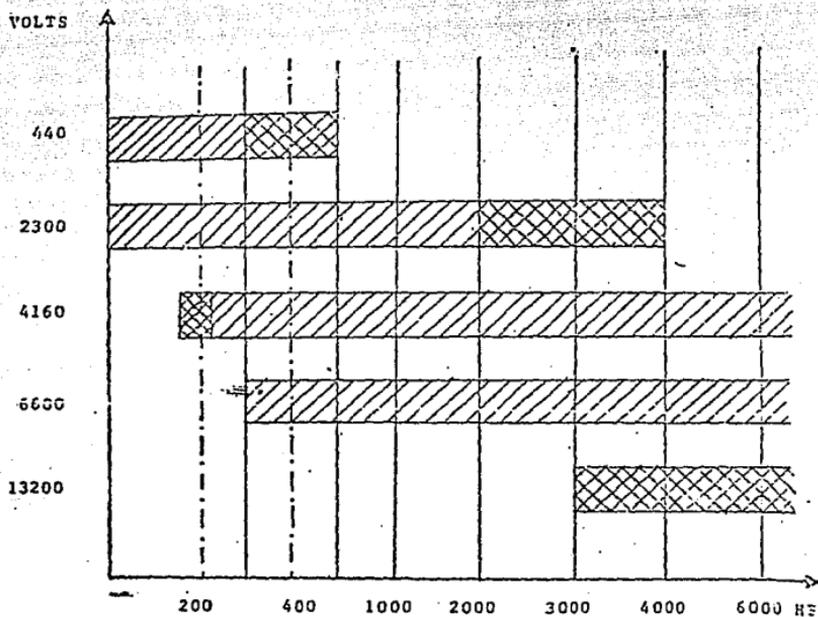
#### SELECCIÓN DEL VOLTAJE DE OPERACION DEL MOTOR

En la gráfica siguiente, se encuentran los rangos de potencia recomendados respecto a los voltajes de alimentación. De acuerdo a dicha gráfica, los motores de 200 HP quedan equipados de la siguiente forma:

Motor	Voltaje recomendable
200 HP	2300 y 440 volts

Por lo tanto, la tensión de alimentación más adecuada es de 440 volts, debido a que la tensión de 2300 volts no es muy usual.

## SELECCION DEL VOLTAJE DE OPERACION



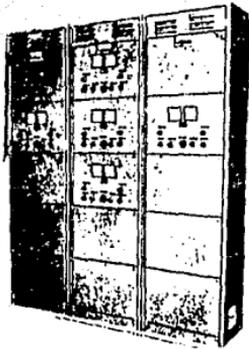
VOLTAGE POSSIBLE NO RECOMENDABLE.



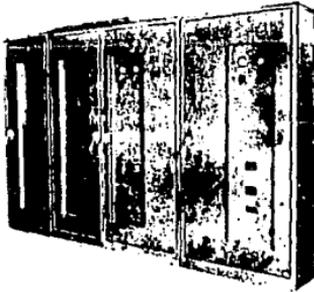
VOLTAGE RECOMENDABLE.

2.6 TABLEROS.- Los tableros de control consisten esencialmente de interruptores electromagnéticos y termomagnéticos, de acuerdo con las cargas que van a recibir y operar.

La siguiente figura muestra un tablero de baja tensión.



Centro de control para motores de operación automática de servicio Interior MECSA



Centro de control MECSA para motores de servicio Interior

En muchas ocasiones, es necesario pedir tableros para controles diversos, tales como bombas, elevadores, etc.

La selección de tableros blindados para baja tensión debe hacerse muy cuidadosamente, pues estos tableros requieren precauciones especiales para su manejo, instalación y operación.

Las siguientes figuras son tableros blindados cortesía de IEM.

#### VISTA FRONTAL DE UN TABLERO PARA SERVICIO INTERIOR

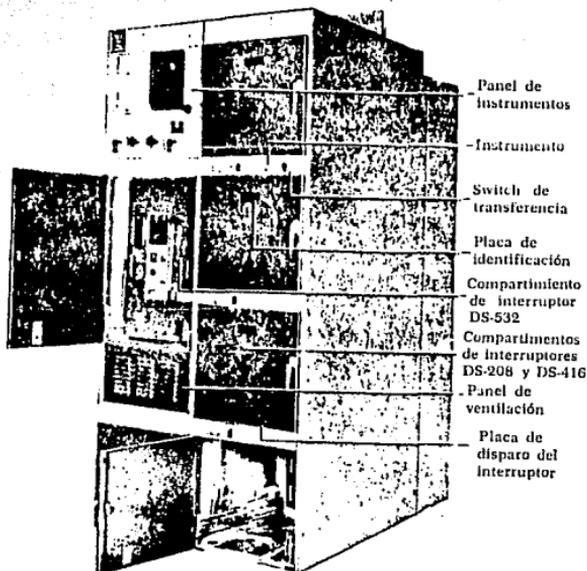
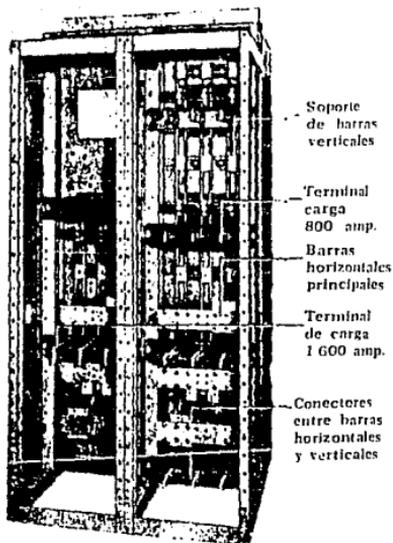


Fig. II.11

## TABLERO BLINDADO PARA BAJA TENSION



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Fig.II.12

## CAPITULO III

### SISTEMA DE TIERRAS

**3.1 OBJETO Y NATURALEZA DEL PROBLEMA DE SISTEMAS DE TIERRAS.-** De manera general se concibe que el objeto de un sistema de tierras es proporcionar seguridad al personal, proteger equipos y mejorar la calidad de servicio, tanto en condiciones de funcionamiento normal como de falla en los sistemas.

El problema de los sistemas de tierra presenta cierta complejidad debido, principalmente, a las características poco homogéneas del terreno y, sobre todo, al escaso conocimiento que de ellos se tiene. Por otro lado, las condiciones que se establecen en el caso de fallas de aislamiento, son difícilmente predecibles y no pueden integrarse en las ecuaciones de cálculo.

**3.2 FACTORES QUE DEBEN TOMARSE EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TIERRAS.-** Como se mencionó en el inciso anterior, tres son los factores principales que siempre deberán tomarse en cuenta en el diseño de un sistema de tierras:

**a) Seguridad del Personal**

Es esencial que, tanto en condiciones normales como de falla, no circule ninguna corriente que pudiera ser

mortal a través del equipo, al cual tenga acceso el personal.

El voltaje que pudiera existir entre la carcasa de un equipo con respecto a la tierra, no es una medida del peligro existente; el criterio que se debe seguir y tomar en cuenta es la diferencia de potencial entre cualquiera de dos puntos que puedan ser tocados simultáneamente por una persona y diseñar un arreglo de tal forma (tanto como sea posible) que la principal corriente de falla a tierra no fluya únicamente entre tales puntos.

**b) Prevención de Daño al Equipo**

Es deseable, bajo condición de falla, limitar, tanto como sea posible, el voltaje que aparece entre las carcasas de los equipos y la malla principal de tierra, cuando circula una corriente de falla.

**c) Operación Satisfactoria de los Equipos de Protección**

Siempre que se tengan equipos de protección y que utilicen la corriente de falla a tierra para su operación, se debe considerar la intensidad de la misma, ya que de ésta depende su correcto funcionamiento y con esto la eliminación adecuada de las fallas en los sistemas para obtener una mejor calidad en el servicio.

**3.3. DISPOSICION BASICA DE LAS REDES DE TIERRAS.-** Para las

redes de tierra se han considerado básicamente tres sistemas:

- a) Sistema radial
- b) Sistema en anillo
- c) Sistema de malla

El sistema radial es el más barato, pero el menos satisfactorio, ya que al producirse una falla en un aparato se producen grandes gradientes de potencial.

Este sistema consiste en uno o varios electrodos, a los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato.

El sistema en anillo se obtiene colocando, en forma de anillo, un cable de cobre de suficiente calibre alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la planta o subestación y conectando derivaciones a cada aparato, usando cable más delgado.

Es un sistema económico y eficiente; en él se eliminan las grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial. Los potenciales peligrosos son disminuidos al disiparse la corriente de falla por varios caminos en paralelo.

El sistema de malla es el más usado actualmente en

nuestros sistemas eléctricos; consiste, como su nombre lo indica, en una malla formada por cable de cobre y conectado a través de electrodos (varillas) a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad.

Este sistema es el más caro, pero también el más eficiente de los tres tipos.

**3.4. ELEMENTOS DE UNA RED DE TIERRAS.-** Los elementos que constituyen una red de tierras son:

**a) Conductores**

Los conductores utilizados en las redes de tierra son de cable de cobre desnudo, de calibres adecuados, dependiendo del sistema que se utilice.

Se ha escogido el calibre mínimo de 2/0 AWG en conductores de cobre por razones mecánicas, ya que eléctricamente pueden usarse cables de cobre hasta No. 2 ó 4 AWG.

Para sistemas en anillo se ha usado cable de cobre de 500 M.C.M. y, en cambio, para el sistema de malla se está usando en la actualidad cable de cobre calibre 2/0 ó 4/0 AWG.

Se utiliza el cobre por su mayor conductividad, tanto

eléctrica como térmica y, además, por ser resistente a la corrosión.

#### b) Electrodo

Son las varillas que se "clavan" en el terreno y que sirven para que la malla esté en contacto con zonas más húmedas del subsuelo y, por lo tanto, con menor resistividad eléctrica. Son especialmente importantes en terrenos desprotegidos de vegetación y cuya superficie, al estar expuesta a los rayos del sol, está completamente seca.

Los electrodos pueden ser fabricados con varillas de fierro galvanizado, o bien varillas tipo "Copperweld".

En el caso de varillas de fierro galvanizado, pueden usarse en terrenos donde la constitución química no afecte a dicho material.

En terrenos cuyos componentes son más corrosivos, se utiliza la varilla tipo "Copperweld". Una varilla de este tipo consiste en una varilla de fierro, a la cual se adhiere un recubrimiento de cobre; este cobre está soldado en forma continua a la varilla de fierro. Este material combina las ventajas del cobre con la alta resistencia mecánica del fierro, tiene buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión y

buena resistencia mecánica para ser clavada en el terreno.

### c) Conectores y Accesorios

Son aquellos elementos que nos sirven para unir los conductores de la red de tierras, además de conectar las varillas o electrodos y los conductores derivados de equipos y estructuras a la red.

Los conectores utilizados en los sistemas de fierro, son principalmente de tres tipos:

- 1) Conectores mecánicos
- 2) Conectores soldables
- 3) Conectores a presión

Todos los tipos de conectores deben poder soportar la corriente de la red de tierras en forma continua.

Los conectores mecánicos están formados generalmente por dos piezas, las cuales se unen por medio de tornillos; sus características principales son: facilidad de instalación, pues pueden desconectarse de la red para poder hacer mediciones en la misma. Tienen algunas veces problemas de corrosión, lo cual se elimina dándole un tratamiento especial a la junta.

Los conductores mecánicos deberán ser, cuando sea posible, accesibles para inspección y mantenimiento.

Se ha incrementado el uso de conectores soldables, debido al ahorro de tiempo y costo que se obtiene al realizar muchas conexiones. Con este tipo de conectores se obtiene una conexión permanente; eliminando además la resistencia de contacto, está relativamente libre de corrosión y permite el uso de conductores pequeños debido a su máxima limitación de temperatura ( $450^{\circ}\text{C}$ ), comparado con la máxima permitida para los conectores mecánicos ( $250^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, tienen algunas limitaciones: no tienen medios para separarlos y poder hacer mediciones en la red, lo cual indica que habría que usar conectores mecánicos en algunas partes de la misma, para poder realizar dichas mediciones; no se pueden usar en presencia de atmósferas volátiles o explosivas.

Los conectores soldables se usan, generalmente, en las instalaciones que van enterradas y en aquellas donde el conductor de tierras no va a ser separado de los equipos, como por ejemplo: para mantenimiento, cambio frecuente de posición, etc.

Los conectores a presión son los más económicos, fáciles de instalar, presentando algunas desventajas, tales como la de no poder desconectarse de la red para hacer

mediciones y problemas de corrosión.

### 3.5 LIMITES DE CORRIENTE TOLERABLES POR EL CUERPO HUMANO.-

La conducción de altas corrientes a tierra en instalaciones eléctricas, debidas a disturbios atmosféricos o a fallas del equipo, obliga a tomar precauciones para que los gradientes eléctricos o las tensiones resultantes no ofrezcan peligro a los operadores o en general al personal que labora en las plantas.

Intensidades del orden de miles de amperes producen gradientes de potencial elevados en la vecindad del punto o puntos de contacto a tierra y, si además se da la circunstancia de estar apoyado en dos puntos, entre los cuales exista una diferencia de potencial debida al gradiente arriba indicado, pueden sufrir una descarga de tal magnitud que sobrepase los límites tolerables. En tal situación, si la corriente que circula por el cuerpo pasa por algún órgano vital como el corazón, puede resultar en fibrilación ventricular y sobrevenir la muerte.

El umbral de percepción en el cuerpo humano se acepta, por lo general, como de aproximadamente 1 miliampere.

Si el camino de la corriente incluye la mano y el

antebrazo, las contracciones musculares, el malestar y el dolor aumentan al crecer la corriente y bastan intensidades de unos cuantos miliamperes para evitar que el sujeto pueda soltar el objeto agarrado por la condición de contracción antes mencionada.

Se pueden tolerar intensidades de corriente superiores sin producir fibrilación, si la duración es muy corta.

La ecuación que liga los parámetros de la intensidad de corriente y el tiempo que puede tolerar un organismo es:

$$I_k^2 \cdot t = 0.0135$$

donde

$$I_k = \frac{0.116 \text{ Amperes}}{\sqrt{t}}$$

$$\frac{I_k}{\sqrt{t}} = \begin{array}{l} \text{Corriente rms que circula por el cuerpo} \\ \text{Tiempo de duración del choque eléctrico,} \\ \text{en segundos} \end{array}$$

$$0.0135 = \begin{array}{l} \text{Constante de energía, derivada} \\ \text{empíricamente} \end{array}$$

Es necesario, para una buena compensación, tomar en cuenta diversos casos que pueden presentarse al hacer contacto con superficies a diferente potencial.

- ♦ DIFERENCIAS DE POTENCIAL TOLERABLES. POTENCIAL DE PASO, DE CONTACTO Y DE TRANSFERENCIA.- Para la determinación de los potenciales de paso, contacto y transferencia se hace uso de circuitos equivalentes, los cuales incluyen las resistencias del sistema de tierras ( $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_0$ ), la resistencia de contacto de la mano (para potenciales de contacto), la resistencia de los zapatos, la resistencia  $R_p$  del terreno inmediato debajo de cada pie y la resistencia del cuerpo  $R_k$ .

La resistencia de contacto en la mano puede ser muy baja y considerarse igual a cero, lo mismo la resistencia de los zapatos.

La resistencia del terreno debajo de los pies puede afectar apreciablemente el valor de la corriente por el cuerpo, un factor que puede ser provechoso en algunas situaciones difíciles.

El pie puede considerarse equivalente a una superficie cubierta por un electrodo de placa circular, con un radio de aproximadamente 8 cm y la resistencia del terreno puede calcularse en términos de la resistividad superficial  $\rho_s$  (en ohms-metro) del terreno.

Se ha determinado que la resistencia de los pies en serie (potencial de paso) es aproximadamente 6  $\rho_s$  ohms, y la

resistencia de los dos pies en paralelo (potencial de contacto) es aproximadamente 1.5 ps ohms. Para aplicaciones prácticas, la resistencia  $R_p$  en ohms para cada pie puede suponerse de 3 ps.

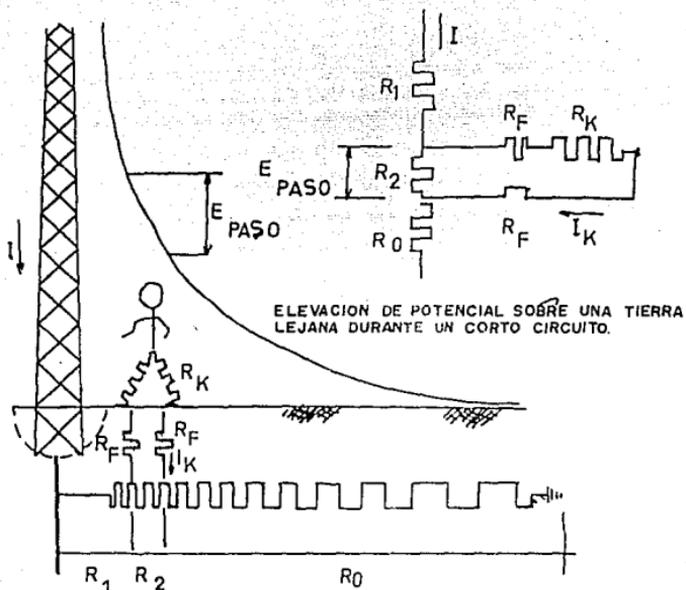
El valor de la resistencia del cuerpo humano (incluyendo la resistencia de la piel y la resistencia interna del cuerpo), es mucho más difícil establecer. Algunos autores sugieren valores que van desde 500 hasta miles de ohms.

Para propósitos prácticos, un valor de 1,000 ohms puede usarse para representar la resistencia del cuerpo, desde una mano a ambos pies y también para la resistencia de un pie al otro.

De acuerdo a esto, podemos fijar los siguientes potenciales:

a) **Potencial de Paso**

El potencial de paso es la diferencia de potencial que aparece entre los dos pies (generalmente espaciamiento de 1 m), cuando una persona está parada en la superficie del terreno y en el cual se presenta un gradiente a causa del flujo de la corriente de falla.



ELEVACION DE POTENCIAL SOBRE UNA TIERRA LEJANA DURANTE UN CORTO CIRCUITO.

TENSIONES DE PASO CERCA DE UNA ESTRUCTURA CONECTADA A TIERRA

FIG. A

En la figura "A" se muestra el circuito equivalente de la diferencia de potencial de un "paso" o contacto entre los pies.

Del circuito equivalente tenemos:

$$E_p = (R_K + 2R_F) \times I_K$$

$$R_K = 1,000 \Omega$$

$$R_F = 3 \mu s$$

$$I_K = 0.116 / \sqrt{t}$$

$$E_p = \frac{(1000 + 6 \mu s) \times 0.116}{\sqrt{t}}$$

$$E_p = \frac{116 + 0.7 \mu s}{\sqrt{t}} \text{ volts}$$

Que es el potencial de paso tolerable por el cuerpo humano.

#### b) Potencial de contacto

El potencial de contacto es la diferencia de potencial a través del cuerpo de una persona entre una mano y los dos pies, cuando está tocando un objeto o equipo aterrizado.

La magnitud será más grande cuando la persona está parada en el centro de la malla. Este potencial de contacto máximo es conocido como potencial de malla.

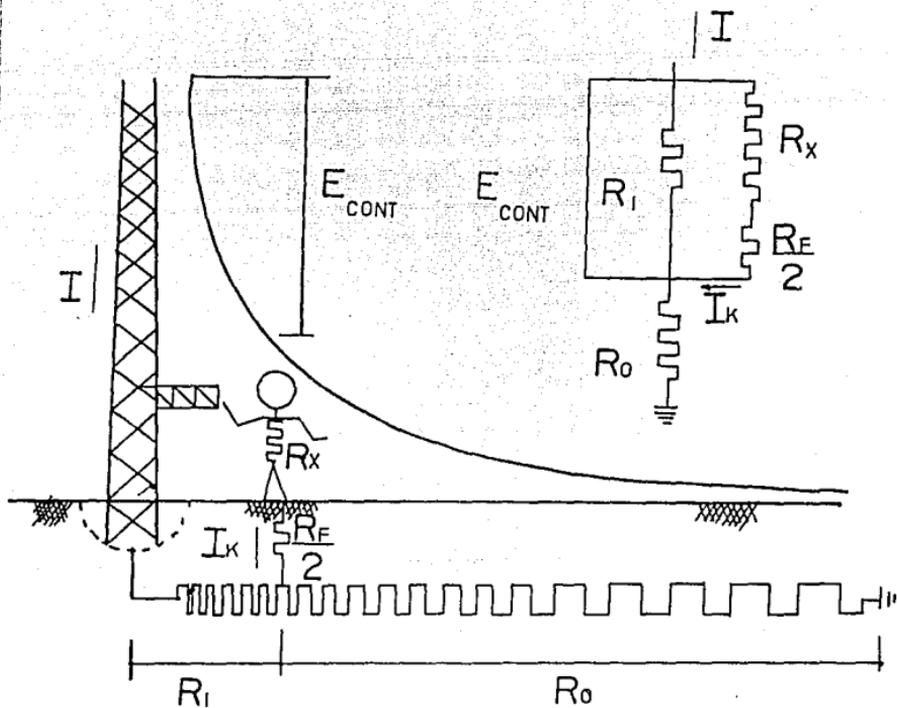


FIG. B

En la figura "B" se muestra el circuito equivalente de la diferencia de potencial para un "contacto" entre la mano y los dos pies.

Del circuito equivalente tenemos:

$$EC = \frac{(R_K + R_F) \cdot I_K}{2}$$

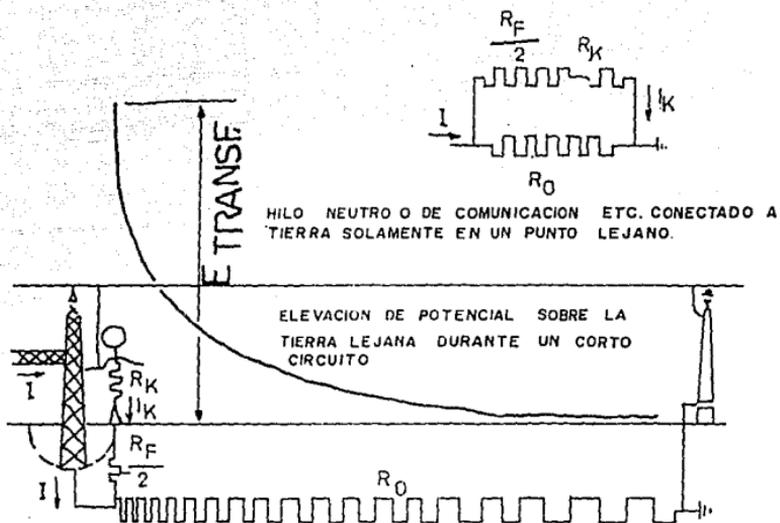
$$EC = \frac{(1000 \cdot 1.5 \text{ p s}) \cdot 0.116}{\sqrt{t}}$$

$$EC = \frac{116 + 0.17 \text{ ps Volts}}{\sqrt{t}}$$

### c) Potencial de Transferencia

Este potencial puede ser considerado como un caso especial de potencial de contacto.

Una persona parada dentro del área de una planta toca un conductor aterrizado en un punto remoto; o una persona parada en un punto remoto toca un conductor conectado a tierra en esta planta. Aquí la tensión del choque eléctrico puede ser esencialmente igual a la elevación total de potencial de la malla de tierra y no la fracción de este total que se encuentra con los potenciales de paso y contacto.



EJEMPLO DEL PELIGRO LIBRADO A POTENCIALES TRANSFERIDOS.

FIG. C

En la figura "C" se muestra el circuito equivalente en el cual aparece el potencial de transferencia.

Para evitar estas condiciones peligrosas se dan recomendaciones de cómo conectar ciertos elementos de las plantas o subestaciones.

### 3.6 PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE UN SISTEMA DE

TIERRAS.- Con los potenciales tolerables de paso y de contacto calculados podemos diseñar y construir un sistema de tierras, siguiendo los pasos que a continuación se mencionan:

- a) Investigación de las características del terreno
- b) Determinación de la corriente máxima de falla a tierra
- c) Diseño preliminar del sistema de tierras
- d) Cálculo de la Resistencia del Sistema de Tierras
- e) Cálculo del máximo aumento de potencial en la red
- f) Cálculo de los voltajes de paso en la periferia
- g) Investigación de los potenciales de transferencia
- h) Corrección o refinamiento del diseño preliminar, como se indicó en los puntos "f" y "g")
- i) Construcción del sistema de tierras
- j) Medición en campo de la resistencia del sistema de tierras
- k) Revisión de los puntos "e", "f" y "g", basados en las mediciones actuales

- 1) Modificación del sistema de tierras (si procede), de acuerdo con lo obtenido en el punto "k".

Varios de los puntos descritos anteriormente pueden usarse para verificar la seguridad de plantas o subestaciones existentes y aplicar, si se requiere, medidas correctivas apropiadas.

Para minimizar el tiempo de cálculo, algunos diseñadores prefieren suponer un voltaje de malla máximo permisible y calcular la longitud mínima requerida para el conductor de tierras.

- ♦ INVESTIGACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL TERRENO.- Para determinar las características del terreno, normalmente se obtienen muestras hasta una profundidad razonable que puede permitir juzgar la homogeneidad y condiciones de humedad del mismo. Para determinar la resistividad eléctrica es conveniente hacer mediciones con métodos aceptados para estos fines.

Las mediciones deben incluir datos sobre temperatura y condiciones de humedad en el momento de efectuarlas, tipo de terreno, profundidad de la medición y concentraciones de sales en el suelo, ya que, de acuerdo con estos factores, se verá afectada la resistividad.

Se enlistan en la siguiente tabla algunos de los valores representativos del terreno:

TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD EN OHMS-METRO
Tierra orgánica húmeda	10
Tierra húmeda	$10^2$
Tierra seca	$10^3$
Roca sólida	$10^4$

Un ohm-metro = 100 ohms-cm

♦ METODOS DE MEDICION DE LA RESISTIVIDAD EN EL TERRENO.-

Existen varios métodos para medir la resistividad en el terreno, en este inciso mencionaremos el método más usual de medición basado en la ecuación descrita por el Dr. F. Wenner del U. S. Bureau of Standards:

$$\rho = \frac{4 \pi AR}{\frac{1 + 2A}{A^2 + 4B^2} - \frac{2A}{4A^2 + 4B^2}}$$

donde:

$\rho$  = Resistividad del terreno en ohms-metro

R = Resistencia en ohms

A = Distancia entre electrodos adyacentes en metros

B = Profundidad de los electrodos en metros

**Descripción del método:**

Dos electrodos de corriente y dos electrodos intermedios de potencial, todos de pequeñas dimensiones, son colocados en el terreno a igual distancia entre uno y otro y en línea recta, a una profundidad "B". El voltaje entre los dos voltajes de potencial es medido y dividido entre la corriente que circula por los electrodos de corriente, para obtener un valor de resistencia "R".

Los instrumentos comúnmente usados hacen la división automáticamente y dan la lectura directa en ohms.

Si la distancia "B" es pequeña comparada con "A", la ecuación anterior puede simplificarse de la siguiente forma:

$$\rho = 2 \pi AR$$

Este método hace la suposición de que la resistividad del suelo es uniforme.

La siguiente figura muestra la disposición del método:

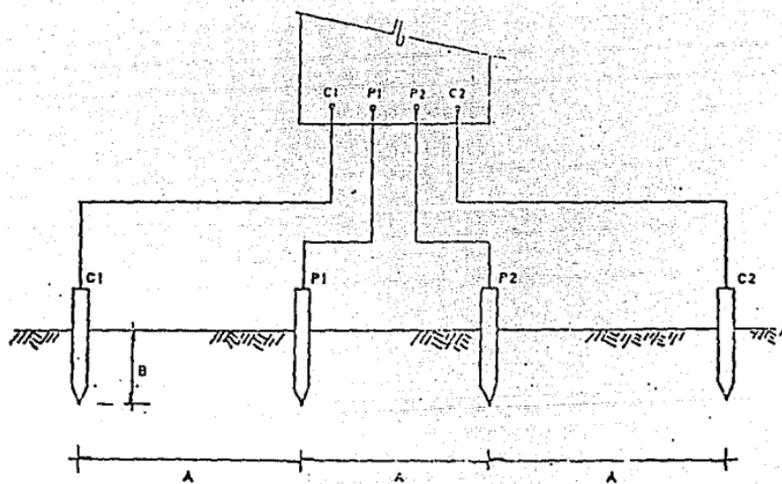


Fig. III-1

♦ DETERMINACION DE LA CORRIENTE MAXIMA DE FALLA A TIERRA -  
PROCEDIMIENTO.- Para determinar el valor correcto de la corriente de falla a tierra utilizada en el cálculo del sistema de tierras, se necesita:

- a) Determinar el tipo de falla posible a tierra que produce el máximo flujo de corriente entre la malla del sistema de tierras y la tierra adyacente y, por lo tanto, su mayor elevación de potencial y los mayores gradientes locales en el área de la planta.
- b) Determinar por cálculo o por analizadores de redes, el máximo valor efectivo de la corriente simétrica de falla a tierra "I", entre la malla de tierras y la tierra circundante en el instante de iniciarse la falla.
- c) Aplicar un factor de corrección para compensar el efecto del desplazamiento de la onda de corriente continua y los decrementos en las componentes transitorias de corriente directa y alterna de la corriente de falla.

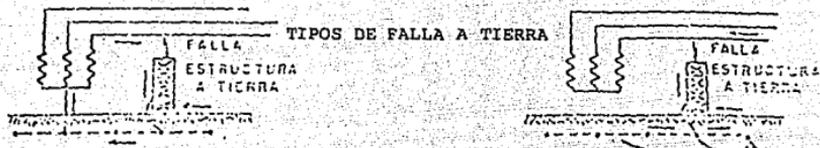
d) Aplicar, cuando sea necesario, un factor de corrección para considerar los aumentos de las corrientes de falla a tierra, debidos al crecimiento de los sistemas eléctricos.

♦ TIPOS DE FALLA A TIERRA.- Son de 2 tipos, principalmente:

a) Falla monofásica a tierra

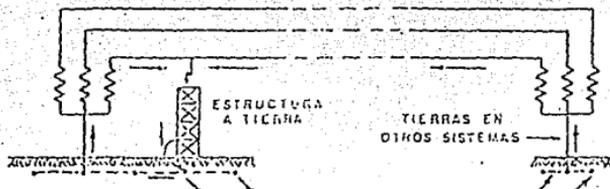
b) Falla polifásica a tierra

Para cualquiera de los dos tipos de falla mencionados, se debe hacer primero un diagrama equivalente a los de la figura "I", que represente la situación real de los circuitos. El diagrama deberá incluir todo hilo aéreo neutro que esté conectado al sistema de tierras o a los neutros de los transformadores.

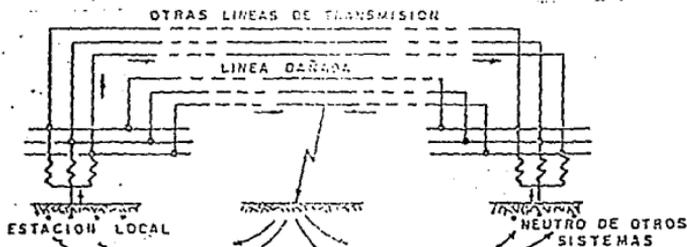


**CASO 1.** FALLA DENTRO DEL LOCAL DE LA ESTACION. SISTEMA DE TIERRAS LOCAL SOLAMENTE. LA CORRIENTE DE FALLA SIGUE EL CAMINO METALICO SUMINISTRADO POR LA RED DE TIERRAS. NINGUNA CORRIENTE APRECIABLE FLUYE EN LA TIERRA.

**CASO 2.** FALLA EN EL LOCAL DE LA ESTACION. NEUTRO CONECTADO A TIERRA LOCAL EN PUNTO REMOTO. LA CORRIENTE TOTAL DE FALLA FLUYE DE LA RED DE TIERRAS HACIA LA TIERRA.



**CASO 3.** FALLA EN LA ESTACION. SISTEMA CONECTADO A TIERRA TANTO EN LA ESTACION COMO EN OTROS PUNTOS. LA CORRIENTE DE FALLA REGRESA AL NEUTRO LOCAL A TRAVES DE LA RED DE TIERRAS Y A LOS NEUTROS REMOTOS A TRAVES DE LA TIERRA. ESTA ES LA COMPONENTE QUE IMPERA EN EL ESTUDIO DE TENSIONES PELIGROSAS.



**CASO 4.** FALLA EN LA LINEA FUERA DE LA ESTACION. SISTEMA A TIERRA LOCALMENTE Y EN OTROS PUNTOS. PARTE DE LA CORRIENTE REGRESA DE LA TIERRA AL SISTEMA DE TIERRAS LOCAL Y DETERMINA EL AUMENTO DE POTENCIAL Y GRADIENTES ALLI.

Fig. III-2

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- ♦ COMPONENTE SIMETRICA DE LA CORRIENTE A TIERRA EN EL INSTANTE DE LA INICIACION DE LA FALLA.- El máximo valor efectivo de la corriente simétrica de falla a tierra  $I''$  se calcula por la ecuación:

$$I'' = \frac{3E}{3R + 3R_f + (R_1 + R_2 + R_0) + j(X''_1 + X_2 + X_0)} \text{ Amperes}$$

En la mayoría de los casos, cuando la resistencia se despreciable, se usa:

$$I'' = \frac{3E}{X''_1 + X_2 + X_0} \text{ Amperes}$$

En las ecuaciones anteriores:

$I''$  = Valor efectivo de la corriente simétrica en el instante en que se inicial la falla a tierra, en Amperes.

$E$  = Tensión de fase a neutro, en Volts

$R$  = Resistencia a tierra estimada del sistema de tierra local de la planta, en ohms

$R_f$  = Resistencia mínima de la falla misma, en ohms

$R_1$  = Resistencia de secuencia positiva, en ohms por fase

$R_2$  = Resistencia de secuencia negativa, en

- ohms por fase
- $R_0$  = Resistencia de secuencia cero, en ohms por fase
- $X''_1$  = Reactancia subtransitoria de secuencia positiva en ohms por fase
- $X_2$  = Reactancia de secuencia negativa
- $X_0$  = Reactancia de secuencia cero en ohms por fase

Los valores de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_0$ ,  $X''_1$ ,  $X_2$  y  $X_0$  son los correspondientes del sistema, vistos desde el punto de falla. Los cálculos se efectuarían excluyendo las corrientes que no circulan entre el sistema local de tierras y la tierra. (Ver los casos 1, 3 y 4 de la figura 'I').

- ♦ FACTORES DE CORRECCION CONSIDERADOS EN EL CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.- En el cálculo anterior se usan factores de corrección para la determinación de la corriente de fallas a tierra que se considera para el cálculo del sistema de tierras. Los factores de corrección se usan en los siguientes casos:

- a) Cuando sea necesario tomar en cuenta el efecto del desplazamiento de la onda de corriente por corriente continua, y los decrementos en las componentes transitorias de corriente directa y alterna de la

corriente de falla.

- b) Cuando sea pertinente tomar en cuenta los aumentos de las corrientes de falla a tierra, debidos al crecimiento del sistema eléctrico.

- ♦ **DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA DE TIERRAS.-** El método de cálculo está encaminado a dar una solución práctica al diseño de sistemas de tierra, basado en establecer límites seguros de diferencias de potencial que pueden existir en una planta o subestación, bajo condiciones de falla, entre puntos que pueden ser tocados por el ser humano. Sin embargo, es recomendable usar métodos de prueba para verificar la seguridad del sistema de tierras una vez construido.

Más adelante se mostrará el cálculo del sistema de tierras de este proyecto.

## C A P I T U L O   I V

### S U B E S T A C I O N   E L E C T R I C A

4.1 CONCEPTOS.- Subestación eléctrica es el conjunto de equipos o dispositivos que permiten cambiar las características de la energía eléctrica.

A la subestación eléctrica se le ha dado la denominación de "Banco de Transformación". Dicha denominación es errónea, ya que un banco de transformación es el conjunto de dos o más transformadores.

Actualmente, las subestaciones de tipo abierto para interiores han pasado a la historia. Los materiales modernos permiten la construcción de subestaciones unitarias o también llamadas compactas, dentro de las cuales se disponen los aparatos y accesorios que señalan las normas del reglamento de obras e instalaciones eléctricas.

Las subestaciones unitarias constan de un gabinete de medidas normalizadas, fabricado de lámina rolada en frío, protegido por pintura anticorrosiva en capa gruesa y tres manos de pintura automotiva con el color que cada fabricante usa en este producto provisto de las siguientes secciones para alojar lo que a continuación se menciona:

#### 4.2 PARTES DE UNA SUBESTACION.-

- ♦ SECCION A.- Destinada al equipo de medición de la empresa que suministra el servicio, el cual es alojado junto con las líneas alimentadoras.
- ♦ SECCION B.- En esta sección se alojan las cuchillas de prueba que servirán para que la SECOFI, por conducto de su Departamento de Normas, en caso necesario verifique pruebas sin necesidad de desconectar el servicio, consistiendo en nueve cuchillas divididas en tres grupos que se maniobran independientemente.
- ♦ SECCION C.- Es para alojar el interruptor, seccionador y apartarrayos autovalvulares, conteniendo a la vez una celda de acoplamiento para el o los transformadores, cuyos secundarios llevan una caja llamada garganta, que sirve para acoplarse a los gabinetes de baja tensión.
- ♦ SECCION D.- Transformador de distribución o de potencia, que en algunos casos pueden ser varios.
- ♦ SECCION E.- Es, según vemos en el siguiente croquis, la celda para acoplar los gabinetes de baja tensión.

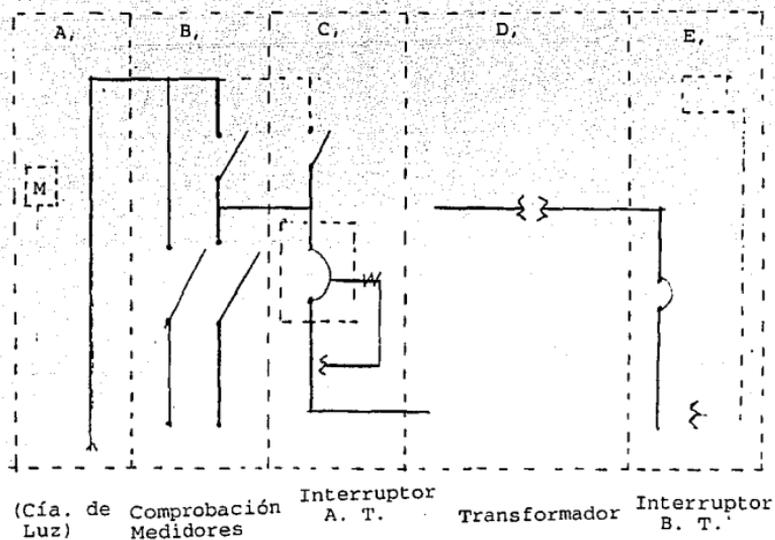


Fig. IV-1

#### 4.3. SUBESTACIONES PARA SISTEMAS DE BOMBEO.-

Tomando en consideración las capacidades de los equipos de bombeo, las tarifas de energía eléctrica y la localización de los pozos para abastecimiento de agua potable que construye la Comisión de Aguas del Valle de México, se ha llegado a la selección de subestaciones cuyo diagrama unifilar se muestra en la siguiente figura, donde se muestran los elementos más simples para proteger y controlar la energía en alta tensión.

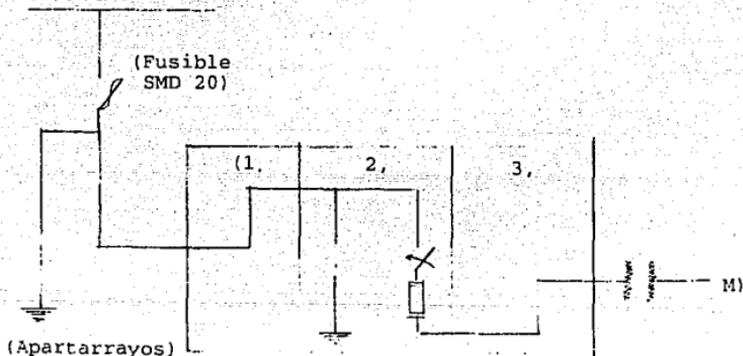


Fig. IV-2

Por lo que respecta a la alimentación de la Comisión Federal de Electricidad, ésta en su parte de acometida instala un juego de fusibles MSD-20 y un juego de apartarrayos, cuyo neutro está eléctricamente conectado al sistema de tierras en alta tensión en la subestación, además en este poste van montadas las mufas de los cables que alimentan a la subestación.

Las subestaciones son del tipo compacto con gabinetes metálicos para servicio intemperie y comprenden la sección de acometida (1), sección de interruptor-fusibles-apartarrayos (2) y sección de acoplamiento en algunos casos (3).

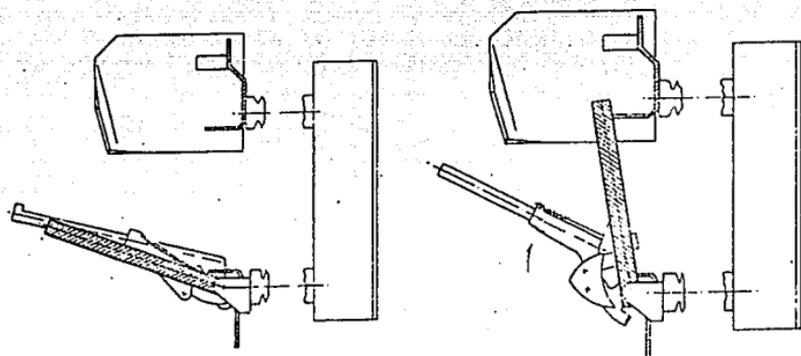
La sección de acometida está destinada a la recepción del cable alimentador y alojamiento de las mufas terminales de éste, propiedad de la Comisión Federal de Electricidad.

En esta sección no se aloja el equipo de medición en alta tensión; siempre y cuando la carga del pozo no exceda de 200 kw, lo cual permite localizar el equipo de medición en el lado de baja tensión a la salida del transformador. Cuando la carga es mayor de 200 Kw, el equipo de medición se localiza en esta sección de la subestación

De esta sección, por medio de barras de cobre, se alimenta la sección de interruptor-fusibles-apartarrayos, en donde se encuentran alojados estos elementos de control y protección.

En las subestaciones de los pozos sistema sur, se han instalado interruptores o seccionadores de carga tripolar, como el que se indica en la figura a continuación:

## MECANISMO PARA DESCONECTAR CUCHILLAS



Posición de desconectado.

Posición de movimiento de cierre.

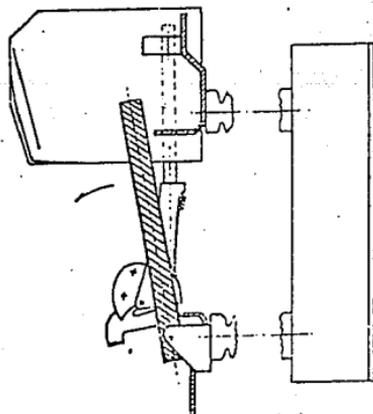
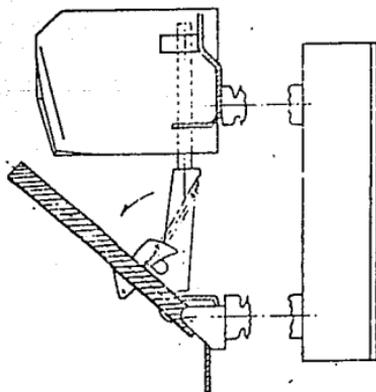
Momento de desconexión de las  
cuchillas principales.Principio de desconexión de las  
cuchillas secundarias.

Fig. IV-3

Este seccionador tiene la forma de un interruptor de palanca y va provisto de cuchillas de contacto principales y auxiliares, montados sobre un marco de base, con ayuda de aisladores de resina sintética acanalados que sirven de apoyo. Las cuchillas de paso de corriente se accionan por medio de un eje de maniobra que descansa sobre el marco de base.

Las cuchillas de corriente secundaria se conectan en paralelo con las principales, con el objeto de que, al tener lugar la desconexión, se hagan cargo de la extinción del arco. Por este motivo, en los puntos de contacto las cuchillas secundarias de corriente son de material resistente al fuego y están provistas de una cámara plana de extinción del arco. Mediante un dispositivo mecánico especial se ha conseguido que las cuchillas de arco se accionen siempre después de las cuchillas seccionadoras principales.

- ♦ **APLICACION.-** Los seccionadores de carga son aparatos de maniobra para instalaciones de alta tensión, que pueden interrumpir corrientes de servicio y que al desconectar dan lugar a una apertura apreciable. Se emplean para conectar líneas aéreas o cables, para seccionar circuitos, así como para la conexión y desconexión de transformadores con carga.

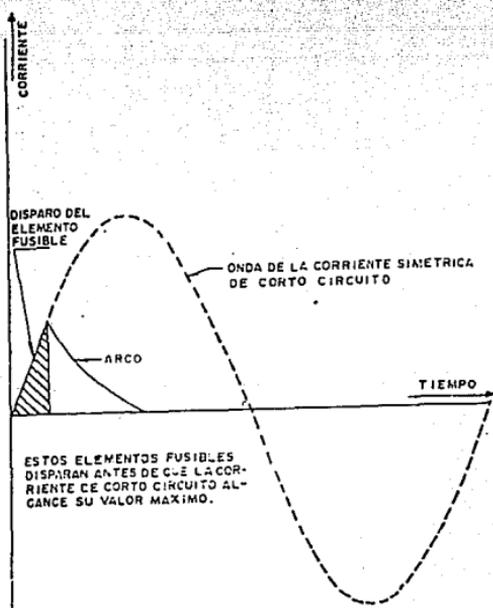
El seccionador de carga está adosado a los correspondientes elementos de protección, tales como fusibles de alta tensión, dispositivos de maniobra rápida (accionamientos de maniobra brusca), acoplamiento de desenganche libre y dispositivos de disparo.

En el proceso de apertura, las cuchillas de arco quedan retenidas, estableciendo pleno contacto, hasta que las cuchillas seccionadoras principales recorren el 80% aproximadamente de su trayectoria de maniobra. Entonces las cuchillas de arco se liberan y se desconectan bruscamente, extinguiéndose el arco en la cámara.

- **FUNCIONAMIENTO.**- Al tener lugar la conexión, las cuchillas de arco se retienen mediante pernos de bloqueo y un disco de levas, a suficiente distancia de las cámaras de extinción, hasta que se conectan las cuchillas seccionadoras principales. Durante el proceso de cierre de estas últimas, se tensan los muelles, los cuales provocan la actuación de las cuchillas de arco después de su liberación en conexión de maniobra brusca. Como consecuencia de este proceso de maniobra, las citadas cuchillas se conectan directamente sin avances previos.

El seccionador de carga está provisto con 3 portafusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva, que en combinación con éste puede eliminar las fallas de

cortocircuito en las instalaciones. En el caso de fundirse un fusible, el seccionador de carga debe abrirse automáticamente, ya que abren el circuito antes del primer pico de corriente haciendo que la duración del arco sea muy corta, produciendo sobretensiones elevadas.



Explicación gráfica de la operación de los fusibles limitadores de corriente.

Fig.IV-4

Este tipo de fusibles (limitadores de corriente) de alta tensión y alta capacidad, además de requerir la desconexión inmediata en el momento de falla de un corto circuito, requiere de dispositivos de sobrecarga que actúen sobre el mecanismo de disparo del seccionador, por lo cual hay que tener especial atención para la calibración y mantenimiento de estos elementos.

Las curvas características de estos fusibles se muestran a continuación, cabe hacer notar que estos fusibles sólo protegen contra cortocircuito y que tienen una tolerancia de  $\pm 20\%$ .

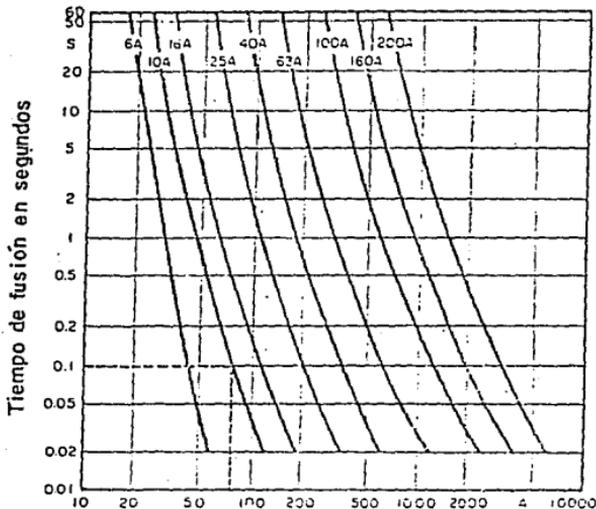


Fig. IV-5

Intensidad de la corriente A (valor efectivo) curvas características del tiempo de fusión.

- OPERACION Y MANTENIMIENTO.- La subestación de energía eléctrica para un consumidor que contrata con una empresa vendedora de fluido eléctrico en alta tensión, es el lugar de la industria o establecimiento en general que recibe mucha atención en un principio, ya que desde ese lugar provendrá la energía eléctrica en baja tensión (220/127 ó 440/254 volts) para el funcionamiento del equipo de bombeo, alumbrado y equipos auxiliares, pero el cual después de transcurrido algún tiempo, debido casi a que trabajan casi sin hacer ruido y no ofrecen problemas, nada más queda como el lugar donde es mejor no entrar porque es peligroso, porque hay "Alta Tensión" y, debido a lo anterior, queda olvidado.

En la actualidad es necesario darle cabida en el programa de mantenimiento, con objeto de lograr que el equipo opere en las mejores condiciones, para que tenga una larga duración, no ofrezca peligro para el personal y evitar que se suspenda un servicio por una falla del equipo de la subestación.

Para dar mantenimiento a estas subestaciones es necesario tener muy presente la secuencia de operación de estos equipos, basado en las normas técnicas y en los principios básicos de seguridad.

Cuando sea necesario desconectar la subestación para

realizar trabajos de mantenimiento o, eventualmente, por la fusión de algún fusible, colóquese los guantes para manejo de alta tensión, opere sobre una tarima aislante apropiada y observe las siguientes operaciones:

- a) Cerciórese si se debió a un cortocircuito, en su caso, es recomendado por el fabricante que con este tipo de fallas se reemplacen los tres fusibles, ya que es posible pierdan su calibración los que no accionaron.
- b) Desconecte todas las cargas de baja tensión.
- c) Opere el seccionador con carga hasta la posición "0", en donde se elimina el trinquete que únicamente permite abrir la puerta de acceso al seleccionador si está desconectado.
- d) Abra la puerta del seccionador bajo carga, dejándola así por espacio de 15 segundos antes de realizar algún trabajo dentro del gabinete. Cerciórese que tanto las cuchillas principales como las de arqueo, hayan operado correctamente.
- e) Descargue la tierra por medio de un cable flexible conectado al sistema de tierras y a la punta de una pértiga haciendo contacto con las terminales de alta tensión del transformador.

- f) Proceda al cambio de fusibles, observando que la flecha indicadora esté en la posición correcta.
- g) Una vez ya instalados los fusibles y habiendo quedado en orden, proceda a cerrar la puerta.
- h) Opere con rapidez la palanca operadora de seccionador de la posición "0" a la posición "1".

Una vez cada seis meses, o por lo menos una vez al año, es necesario pedir una libranza a la empresa suministradora de energía eléctrica, para que se desconecte el servicio por un tiempo razonable, procediendo a la limpieza y mantenimiento general, para lo cual se hacen las siguientes recomendaciones:

- 1) Limpieza de la superficie de los aisladores con trapos limpios y secos.
- 2) Asegúrese que las uniones portadoras de energía de alta tensión se encuentren bien apretadas (recorrer todos los tornillos).
- 3) Verifique el funcionamiento del seccionador bajo carga, conectándolo y desconectándolo. Para ello introduzca suavemente en el orificio del disco externo del mecanismo

el vástago de la palanca hasta la ranura roja, accionar sin demasiada fuerza la palanca desde la posición "0" hasta "1", observando que tanto las cuchillas principales como las de arqueado conecten con la precisión requerida y que el contacto sea el adecuado. Cualquier anomalía notada es conveniente que la repare el personal especializado de la fábrica.

- 4) Verificar que los clips de abrazadera de los fusibles tengan el contacto adecuado.
- 5) Una vez reanudado el servicio, energice la subestación únicamente después de haber efectuado las pruebas de campo aquí descritas, NO lo haga antes de haberse cerciorado realmente de que todo está en orden. Razone siempre la secuencia de operaciones y recuerde, su primer error es el último!!

4.4 TRANSFORMADOR ELECTRICICO.- Un transformador eléctrico es un dispositivo que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro, conservando la frecuencia constante, bajo el principio de inducción electromagnética.

♦ ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN TRANSFORMADOR.-

- a) Núcleo o circuito magnético
- b) Devanados

- c) Aislamientos
- d) Herrajes
- e) Tanque o recipiente
- f) Bushinnes o boquillas
- g) Ganchos de sujeción
- h) Válvula de carga de aceite
- i) Válvula de drenaje
- j) Tubos radiadores
- k) Placa de conexión a tierra
- l) Base para deslizar
- m) Placa de características
- n) Taps o cambiador de derivaciones
- o) Termómetro
- p) Manómetro

♦ CLASIFICACION DE TRANSFORMADORES.- Los transformadores eléctricos pueden clasificarse por:

- a) La forma de su núcleo
- b) El número de fases
- c) El número de devanados
- d) El medio refrigerante
- e) El tipo de enfriamiento
- f) La regulación
- g) La operación

♦ PRUEBA DE UN TRANSFORMADOR.-

Objetivo: Comprobar el estado que guardan los aislamientos de los devanados de un transformador antes de ponerse en servicio.

En la fabricación de un transformador son empleados materiales como: hierro, cobre o aluminio y aislamientos. Cada uno de estos elementos debe llenar los requisitos que se han fijado, de tal manera que el conjunto cumpla con los fines para los que fue diseñado; para conocer sus características o tener una idea del estado que guardan es necesario efectuar pruebas en estos elementos, que son los siguientes:

- a) Rigidez dieléctrica del aceite
- b) Resistencia de aislamiento
- c) Pruebas de potencial aplicado
- d) Pruebas de sobre potencial (potencial inducido)
- e) Pruebas de impulso

♦ CLASES DE ENFRIAMIENTO.-

1. Tipo OA.- Sumergido en aceite con enfriamiento natural, es el más usado y económico; bajo este sistema el aceite circula por convección natural dentro de un tanque provisto de enfriadores tubulares o radiadores.

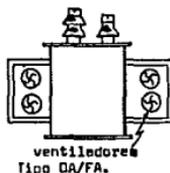
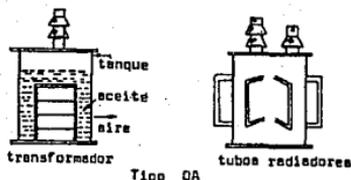


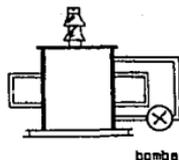
Fig.IV.6

2. Tipo OA/FA.- Sumergido en aceite, con enfriamiento propio y con enfriamiento con aire forzado. Este tipo es una unidad OA a la que se han agregado ventiladores para aumentar la disipación del calor.
3. Tipo OA/FOA/FOA.- Sumergido en aceite con enfriamiento propio, con enfriamiento con aceite forzado y aire forzado y con enfriamiento con aceite forzado y aire forzado.

La capacidad del transformador tipo OA puede ser aumentada por el empleo combinado de bombas y

ventiladores. El aumento de la capacidad se efectúa en dos pasos: en el primero se usa la mitad de los ventiladores y la mitad de las bombas, con lo que se logra un aumento del 33% sobre la capacidad del OA; en el segundo se hace trabajar la totalidad de los ventiladores y bombas, con lo que se logra un 67% sobre la capacidad OA.

4. Tipo FOA.- Sumergido en aceite, con enfriamiento por aceite forzado y con enfriamiento de aire forzado. El aceite de estos transformadores es enfriado al hacerlo pasar por cambiadores de calor o radiadores de aire colocados fuera del tanque.



Transformador tipo FOA

5. Tipo OW. sumergido en aceite con enfriamiento por agua. Este tipo está equipado con un cambiador de calor tubular fuera del tanque. El agua circula en el interior de los tubos y se drena por gravedad o por medio de una bomba independiente.

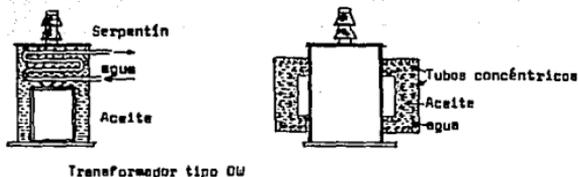


Fig. IV-8

6. Tipo FOW.- Sumergido en aceite, con enfriamiento de aceite forzado, con enfriadores de agua forzada. Este tipo de enfriamiento es prácticamente igual que el tipo FOA, excepto que el cambiador de calor es del modelo agua-aceite, y el enfriamiento del aceite se hace por medio de agua, sin tener ventiladores.

- UTILIZACION DE TRANSFORMADORES EN EQUIPOS DE BOMBEO.- Los transformadores que se utilizan en las subestaciones para los equipos de bombeo de los pozos profundos son trifásicos, de distribución, con enfriamiento tipo OA, y las conexiones de sus devanados más comunes son delta-estrella.

Conexión Delta Estrella: Es un arreglo que se hace en los devanados de los transformadores y se emplea porque pueden obtenerse dos voltajes diferentes, sin hacer cambios en las conexiones de los devanados.

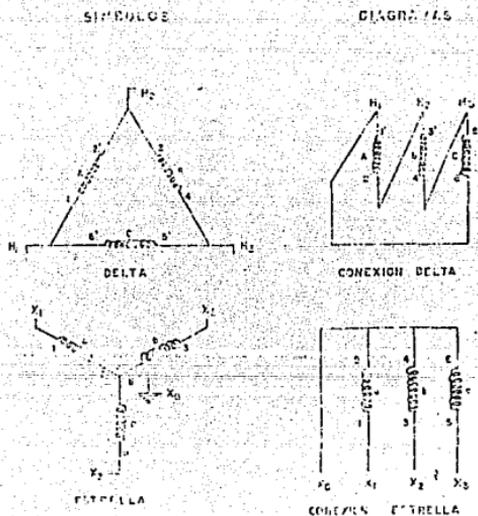


Fig.IV-9

$H_1, H_2, H_3$ .-	Terminales de la conexión delta en alta tensión
A, B, C.-	Devanados de alta tensión
1', 3', 5'.-	Principios de bobinas de los devanados de alta tensión
2', 4', 6'.-	Final de bobinas de los devanados de alta tensión
$X_1, X_2, X_3$ .-	Terminales de la conexión estrella en baja tensión
$X_0$ .-	Terminal del neutro o punto común de la conexión estrella
a, b, c.-	Devanados de baja tensión
1, 3, 5.-	Principio de bobinas de los devanados de baja tensión
2, 4, 6.-	Final de bobinas de los devanados de baja tensión

Si el valor del voltaje es de 440 volts entre cualquier par de terminales, por ejemplo:  $X_1-X_2$ , el voltaje entre cualquier terminal y neutro sería 254 volts, Por ejemplo, entre  $X_1-X_0$ ; si el voltaje fuera 220 entre  $X_1-X_2$ , entonces entre  $X_1-X_0$  sería de 127.5 volts.

La razón es que en un sistema trifásico estrella el voltaje entre fases llamado "voltaje de línea" debe dividirse entre 3 para obtener el "voltaje de fase".

- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE UN TRANSFORMADOR PARA UN EQUIPO DE BOMBEO.- Para fines prácticos se considera que un HP es igual a un KVA, por lo tanto el transformador para un motor cuya potencia es igual a equis HP será igual a equis KVA, por ejemplo: si se tiene un motor de 75 HP partiendo de que 1 HP = 1 KVS, entonces el transformador debe ser de 75 KVS.

Si se desea ser estricto en el cálculo para no desperdiciar potencia en los transformadores, se aplica la fórmula siguiente:

$$\text{KVA} = \frac{\text{HP} \times 0.746}{\text{F.P.} \times \text{N}} \quad (1)$$

que se deduce de la fórmula

$$\text{I} = \frac{\text{KW} \times \text{HP}}{\sqrt{3} \times \text{E} \times \text{F.P.} \times \text{N}} \quad (2)$$

porque

$$\text{KVA} = \sqrt{3} \times \text{E} \times \text{I} \quad (3)$$

entonces (2) nos queda

$$\sqrt{3} \times \text{E} \times \text{I} = \frac{\text{KW} \times \text{HP}}{\text{FP} \times \text{N}} \quad (4)$$

sustituyendo (3) en (4) se obtiene (1)

$$\text{KVA} = \frac{\text{KW} \times \text{HP}}{\text{FP} \times \text{N}}$$

Donde:

KVA	=	Potencia aparente en Kilovolt-amperes
KW	=	Potencia activa o real en kilowatts
I	=	Corriente de fase en amperes
E	=	Voltaje de línea en volts
FP	=	Factor de potencia del motor
N	=	Eficiencia del motor.
HP	=	Potencia en caballos de fuerza = 746 watts

Así, por ejemplo, para 75 HP aplicando la fórmula 1 considerando: FP = 0.9, N = 0.9 resulta

$$KVA = \frac{75 \times 0.745}{0.9 \times 0.9} = \frac{55.95}{0.81} = 69.0741$$

#### 4.5 MEDIOS DE PROTECCION.-

- ◆ CUCHILLAS FUSIBLES.- Para la protección individual de los transformadores se instalan cuchillas fusibles, que operan cuando dentro del mismo transformador se presenta un c.c. o una sobrecorriente.

Los fusibles deben estar calibrados en forma que se fundan, respondiendo a un tiempo menor que el de accionamiento del interruptor general por una sobrecorriente dada, para evitar que por una falla de un

transformador, salga de servicio toda la planta de bombeo. Las cuchillas fusibles pueden ser operadas por pértiga o por mecanismos de grupo.

♦ **PROTECCION DE LA BAJA TENSION DE LOS TRANSFORMADORES.-**

Este equipo prácticamente ya no pertenece a la subestación reductora. La mayoría de las veces se localiza en los tableros principales de la estación de bombeo, en el interior de la casa de máquinas, pero en estaciones de bombeo grandes se le suele instalar al pie de la salida de B.T. del transformador, con el fin de proteger el alimentador secundario.

Estas protecciones pueden ser del tipo de fusibles, de interruptores termomagnéticos o del tipo electromagnéticos, y operan usualmente al mismo voltaje que el de la carga.

En el capítulo seis de esta tesis, se hacen los cálculos para las protecciones de los diversos transformadores de este sistema.

♦ **APARTARRAYOS.-** El apartarrayos es un dispositivo que protege las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico.

Las ondas que se presentan durante una descarga

atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan el equipo eléctrico si no está protegido correctamente.

Las sobretensiones que se presentan en la instalación de un sistema, pueden ser de dos tipos:

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

El pararrayos es, por lo tanto, el dispositivo que permite proteger las instalaciones contra sobretensiones.

Estas se presentan en la línea de alimentación en forma de onda de voltaje, que viaja a través de los alimentadores. Estas ondas tienen un valor de pico muy elevado que, de no existir el pararrayos, llegarían hasta el equipo, destruyéndolo al perforar su aislamiento. El pararrayos es pues el elemento que, por decirlo así, capta el valor de la onda de voltaje, permitiendo que solamente continúe a los equipos una pequeña cantidad de energía, la cual ya no es perjudicial. La otra cantidad que es mayor, se dispersa en el terreno por medio del sistema de tierras.

El envío de la sobretensión al sistema de tierras lo efectúa el pararrayos por medio de explosores, placas de carbón, etc.

En subestaciones muy grandes a la intemperie, se acostumbra instalar pararrayos en los mismos tanques de los transformadores para brindarles la mayor protección contra descargas atmosféricas directas.

Respecto a este sistema de protección, se consideró no necesaria su instalación, debido a que no existen estructuras ni edificios altos que requieran de protección en esta planta de bombeo.

- ♦ AISLADORES.- Los aisladores tienen por objeto mantener una determinada separación entre los conductores y tierra, evitando arcos o brincos de corriente a tierra, además sirven para soportar y sujetar a los conductores eléctricos.

Existe una gran variedad de aisladores, siendo unos para instalación a la intemperie y otros para interiores; los hay de varios tamaños, dependiendo del voltaje a que operarán y diferentes resistencias mecánicas.

Los aisladores más usuales son los de tipo suspensión y de soporte tipo alfiler.

- ♦ ACOPLAMIENTO DE TRANSFORMADORES A LA SUBESTACION.- Para darnos perfecta idea de cómo son acoplados los

transformadores a la subestación, se muestra a continuación un transformador con sus respectivas gargantas de acoplamiento; al frente del transformador tenemos el termómetro, el nivel de aceite y la manija para el cambio de derivaciones sin carga.

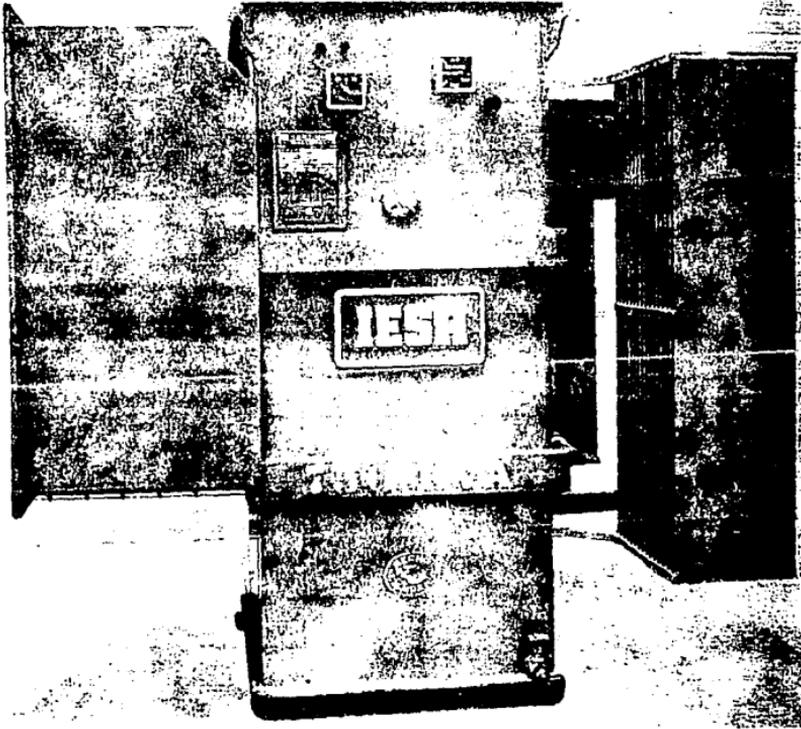


Fig. IV-10

- ♦ DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA, TIPO COMPACTA DE ESTE PROYECTO.- Estas especificaciones describen los requerimientos generales para el suministro, instalación y puesta en servicio de una subestación eléctrica tipo compacta, para servicio intemperie, NEMA 3r, 1612.5 KVA de capacidad, tensión de operación de 23-0.440/0.254 KV, 3 fases, 60 hertz.
- ♦ CONDICIONES DE DISEÑO.- La subestación tipo intemperie estará formada por el ensamble mecánico y eléctrico de gabinetes, autosoportados construidos con lámina de acero rolada en frío, de calibre 12 USG (2.78 mm de espesor), y perfiles estructurales de lámina calibre 10 USG (3.57 mm de espesor).

Las superficies perimetrales de los gabinetes deben estar exentas de riesgos para el personal que los opere, ya sea en trabajo normal o por contactos involuntarios con partes vivas portadoras de energía de alta tensión.

Las puertas deberán estar provistas con ventanas de inspección, con vidrios inastillables de resistencia suficiente para soportar eventuales presiones internas; deben soportar sin deformarse todos los esfuerzos mecánicos a que serán sometidos durante su manejo y transporte, así como los originados bajo condición de cortocircuito y movimientos telúricos.

En general, el diseño modular, frente muerto se ajustará a las Normas Nacionales NOM-J-68 y NOM-J-220.

- ♦ **BARRAS PRINCIPALES.**- Deberán diseñarse en condiciones tales que sus dimensiones y características (rectangular aproximadamente 2" y 3/8", constituida en cobre de alta conductividad), le permita trabajar con una densidad de corriente que no eleve su temperatura a un valor mayor de 60° C. De acuerdo a sus dimensiones, deberán ser capaces de resistir los esfuerzos producidos por corriente de falla iguales a los interruptores principales (500 MVA).

Deberán aislarse y soportarse con material no higroscópico, pudiendo ser porcelana o resina epóxica para 24 KV.

Estas barras se diseñarán para una capacidad de 400 Amp., 20-23 KV, 60 Hertz.

- ♦ **BARRA DE TIERRAS.**- La tierra estará constituida por una barra de sección transversal no menor de 6 x 51 mm, extendiéndose a todo lo largo del tablero.

Cada celda debe conectarse directamente al bus de tierra. El bus de tierra deberá incluir dos conectores para cable calibre No. 4/0 A.W.G. uno a cada extremo, para conexión

al sistema general de tierras.

- ♦ **CALEFACCION.**- Se deberán incluir calentadores de 250 watts, 220 volts, por sección, los cuales serán controlados por termostatos, garantizando a una temperatura de 20 - 40° C.
  
- ♦ **ACABADO.**- Todos los gabinetes deberán tener una base de recubrimiento epóxico previo desengrase y fostatización en caliente, antes de aplicar el acabado final, que deberá ser apropiado para un ambiente húmedo.
  
- ♦ **COMPONENTES PRINCIPALES.**- Esta subestación se diseñará a prueba de roedores y constará de las siguientes celdas:
  - a) 1 celda de medición
  - b) 1 celda de cuchillas de paso
  - c) 3 celdas de seccionador y apartarrayos
  - d) 1 celda de acoplamiento

Las celdas tendrán las siguientes características:

**CELDA DE MEDICION.**- Esta celda está destinada a alojar la acometida subterránea de la Compañía Suministradora de Energía y al equipo de medición correspondiente.

**CELDA DE CUCHILLAS DE PASO.**- En esta celda se alojará un

juego de cuchillas tripolares de operación en grupo para desconexión sin carga, que permitirá el aislamiento entre el suministro de energía y la celda del seccionador.

La operación se realizará manualmente mediante palanca, desde el frente externo:

Tensión nominal	23 KV
Corriente nominal	400 Amp.
Marca	Elmex o similar
Tipo	Tripolar
Tensión de choque soportable	125 KV (respecto a pieza puesta a tierra de polo a polo)
Peso	38 kg

CELDAS SECCIONADORAS (3 PZAS).- En estas celdas se alojarán en c/u de ellas un seccionador para operación en grupo y desconexión con carga, con disparo por falla monofásica, de 3 polos, simple apertura, aisladores, soporte, montaje vertical, operación manual en grupo por medio de palanca desde el exterior frontal del tablero.

La protección contra cortocircuito deberá efectuarse por medio de fusibles tipo limitador de corriente, de alta capacidad interruptiva y 1000 MVA interruptivos.

CELDA DE ACOPLAMIENTO.- Esta celda tiene como finalidad acoplar el transformador de potencia con la subestación, disponiendo de placas laterales desmontables para adaptarse a la garganta del transformador, y alojará en el interior las barras de cobre necesarias para la interconexión, apoyados sobre aisladores de resina sintética.

<p style="text-align: center;"><b>CAPITULO V</b> <b>PLANTA DE EMERGENCIA</b></p>
--

5.1 PLANTAS GENERADORAS DE ELECTRICIDAD.- Las plantas eléctricas son dispositivos que aprovechan cierto tipo de energía para producir energía eléctrica. Dicha energía puede provenir de:

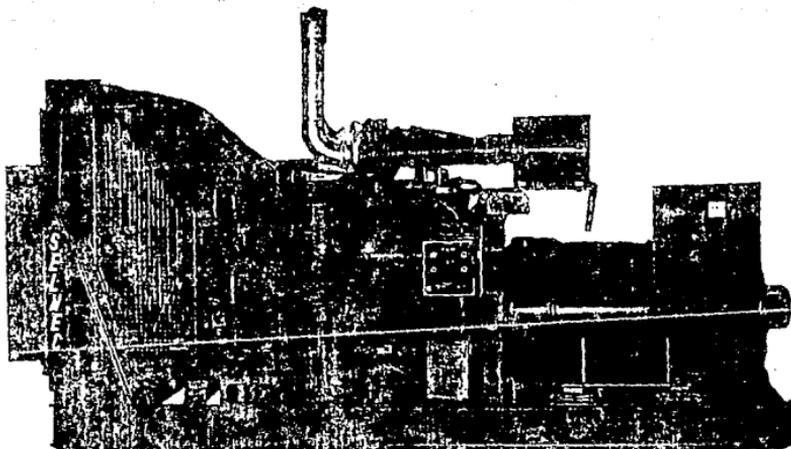
- . Un motor de combustión interna
- . Los rayos luminosos del sol
- . La energía potencial y dinámica de un sistema hidráulico
- . Los gases provenientes del subsuelo
- . Etc.

De acuerdo al tipo de energía que aprovechan las plantas, éstas se clasifican en:

- a) Plantas hidroeléctricas
- b) Plantas termoeléctricas
- c) Plantas solares
- d) Plantas geotérmicas
- e) Plantas con motor de combustión interna

- a) **PLANTAS HIDROELECTRICAS.**- Son aquéllas que aprovechan la energía dinámica de un sistema para mover una turbina y ésta, a su vez, mueve a un generador de corriente alterna.
- b) **PLANTAS TERMoeLECTRICAS.**- Son aquéllas que aprovechan la energía térmica de un combustible para producir vapor a presión, el cual mueve a una turbina y ésta, a su vez, mueve a un generador de corriente alterna.
- c) **PLANTAS SOLARES.**- Son aquéllas que aprovechan la energía luminosa del sol, por medio de celdas que permiten convertir la energía luminosa a energía eléctrica.
- d) **PLANTAS GEOTERMICAS.**- Las de este tipo utilizan la energía dinámica de los gases del subsuelo para mover unas turbinas y éstas, a su vez, al generador de corriente alterna.
- e) **PLANTAS CON MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.**- Este tipo de plantas utiliza la energía térmica producida por un combustible para lograr el movimiento en un motor de combustión interna para que éste mueva a su vez un generador de corriente alterna, como el que se muestra a continuación:

PLANTA ACCIONADA CON MOTOR DE COMBUSTION INTERNA



SERVICIO:	Continuo o de emergencia
OPERACION:	Manual, Semi-Automática y Automática
CAPACIDAD:	Desde 1.5 hasta 60,000 kw.
GENERADOR IMPULSADO POR:	Motor a gasolina Motor diesel Motor a gas Turbinas diesel y/o gas
TABLERO DE:	Transferencia automática, incluyendo control y fuerza para todas las capacidades y voltajes.

Fig. V-1

5.2 PLANTAS DE EMERGENCIA.- De acuerdo a nuestro objetivo, lo que nos interesa es conocer más a fondo las plantas con motores de combustión interna. A continuación veremos cómo se clasifican y dónde se aplican las plantas con motores de combustión interna. Normalmente se clasifican como sigue:

a) De acuerdo al tipo de combustible:

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

b) De acuerdo al tipo de servicio:

- . Servicio continuo
- . Servicio de emergencia

c) Por su operación:

- . Manual
- . Automática

♦ PLANTAS 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, tales como: en una estación radio transmisora, un centro de cómputo, aserraderos, etc.

- ♦ **APLICACION DE PLANTAS ELECTRICAS DE EMERGENCIA.**- Se utilizan en los sistemas de distribución modernos que usan frecuentemente dos o más fuentes de alimentación. Son utilizadas en lugares donde es vital la continuidad de servicio eléctrico, por ejemplo:
  - Instalaciones de hospitales en el área de cirugía, recuperación cuidado intensivo, salas de tratamientos especiales, etc.
  - Para la operación de servicios de importancia crítica, como son los elevadores públicos.
  - 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 computadoras, bancos de memoria, equipo de procesamiento de datos, radar, etc.
  
- ♦ **PLANTAS ELECTRICAS DE OPERACION MANUAL.**- Son aquellas que requieren para su operación que se opere manualmente un interruptor para arrancar o parar dicha planta. Normalmente estas plantas se utilizan en aquellos lugares

en donde no hay energía eléctrica comercial, tales como: construcción, aserraderos, poblados pequeños, etc.

- ♦ **PLANTAS ELECTRICAS DE OPERACION AUTOMATICA.-** Son aquéllas que sólo al inicio se operan manualmente, ya que después éstas cumplen sus funciones automáticamente; dichas plantas normalmente tienen las mismas aplicaciones que las plantas de emergencia.

**Componentes principales de las Plantas Eléctricas de Operación Automática.-** Las Plantas Eléctricas de Operación Automática están compuestas principalmente de:

- Un motor de combustión interna
- Un generador de corriente alterna
- Una unidad de interruptores
- Un circuito de control de transferencia
- Un circuito de control de arranque y paro
- Instrumentos de medición

El motor de combustión interna está compuesto de varios sistemas, que son:

- a) Sistema de combustible
- b) Sistema de aire
- c) Sistema de enfriamiento
- d) Sistema de lubricación

- e) Sistema eléctrico
- f) Sistema de protección
- g) Sistema de arranque

El generador de corriente alterna está compuesto de:

- a) Inductor principal
- b) Inducido principal
- c) Inductor de la excitatriz
- d) Inducido de la excitatriz
- e) Puente rectificador trifásico rotativo
- f) Regulador de voltaje estático
- g) Caja de conexiones

La unidad de interruptores de transferencia consta de:

- a) Interruptor de alimentación normal
- b) Interruptor de alimentación de emergencia
- c) Gabinete con indicadores de posición
- d) Mecanismo de operación manual

El circuito de control de transferencia consta normalmente de:

- a) Sensitivo de voltaje
- b) Relevador de tiempo de  
- Transferencia

- Retransferencia
- Enfriamiento de máquina
- c) Relevadores auxiliares
- d) Relevadores de carga
- e) Reloj programador
- f) Botón de prueba
- g) Cargador de batería
- h) Gabinete con lámparas piloto
- i) Transformadores

El circuito de control de arranque y paro consta de:

- a) Relevadores tales como:
  - Relevador de iniciación (4)
  - Relevador de intento de arranque
  - Relevador de límite de arranque
  - Relevador de paros por: presión, temperatura y sobre velocidad
  - Relevador de arranque completo
- b) Solenoides de la máquina
  - Válvula de entrada de aire
  - Solenoide auxiliar de arranque
  - Válvula de combustible
- c) Fusibles (para la protección del control y medición)
- d) Lámparas.- Pilotos (indicadores de fallas)
- e) Tablilla de terminales

Los instrumentos de medición que se instalan normalmente en las plantas son:

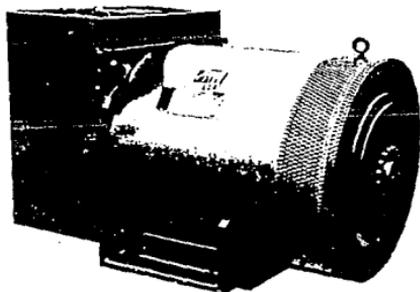
- a) Voltmetro con su conmutador C.A.
- b) Ampérmetro con su conmutador C.A.
- c) Frecuencímetro
- d) Horímetro
- e) Kilowatt-horímetro (opcional)
- f) Ampérmetro C.D., para el cargador de batería

5.3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA PLANTA AUTOMATICAS DE ESTE PROYECTO.- Las plantas eléctricas son unidades de fuerza, compuestas de un motor de combustión interna de 4, 6, 8, 12 y 16 cilindros tipo industrial estacionario, un generador eléctrico de corriente alterna con sus controles y accesorios totalmente ensamblados y probados en fábrica.

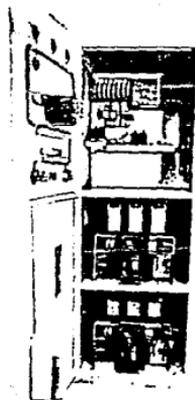
Dichos controles y accesorios están seleccionados para trabajar en conjunto, dando la máxima seguridad y alta eficiencia en su operación.

Entre los componentes que se entregan podemos citar los siguientes:

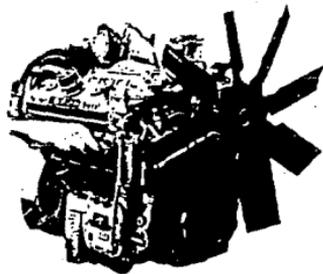
## COMPONENTES DE LA PLANTA DE EMERGENCIA



GENERADOR SINCRONO



TABLERO DE CONTROL



MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

Fig.V-2

#### 5.4. EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA DE LA PLANTA-

- ♦ La planta misma (motor y generador) montada en base de acero con sus sistemas de: enfriamiento, protección contra alta temperatura del agua, baja presión del aceite y sobre velocidad (a excepción de los motores Perkins), motor de arranque, controles de arranque y paro, válvulas de purga, bombas de inyección de combustible, filtros de aire, aceite y combustible.
- ♦ Unidad de interruptores de transferencia automática, montada en su respectivo gabinete
- ♦ 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 relevador sensitivo de voltaje.
- ♦ Instrumentos: un voltímetro, amperímetro, frecuencímetro y horómetro, conmutadores de fase para el ampérmetro y el voltímetro, kilowatthorímetro (cuando la capacidad de la planta es superior a 75 kw). Estos instrumentos se pueden localizar integrados a la puerta del tablero de control (plantas automáticas) o en gabinete independiente para montaje en pared o sobre el generador de la planta

(plantas de arranque manual).

- ♦ Acumuladores con sus cables de conexión.
- ♦ Silenciador de gases de escape tipo hospital, industria, residencial y tramo de tubo flexible para conectarlo con el múltiple de escape del motor.
- ♦ Juego de amortiguadores antivibratorios tipo resorte (opcional). Al frente del motor se encuentra localizado el radiador y el ventilador, los cuales sirven para enfriar la máquina; al lado de la máquina y al frente del mismo lado se localiza el alternador.

En la parte superior se localiza el múltiple de escape y sobre éste el turbo cargador; al frente del mismo lado se encuentra el gobernador hidráulico electrónico y la bomba de combustible. Las tomas de combustión (alimentación y retorno) se encuentran localizadas del mismo lado de la bomba, así como también el filtro de combustible, la tablilla de terminales y el tablero de instrumentos.

Abajo a la derecha y cerca del tanque de depósito de aceite (carter) se encuentra el control de baja presión de aceite y el control de temperatura de aceite.

Arriba al frente, a la izquierda, se encuentra localizado

el acondicionador de temperatura (precalentador de agua).

Convenientemente distribuidos se encuentran orificios para:

- La purga de aceite quemado
- La purga de agua de enfriamiento
- El aceite del generador
- El llenado de aceite del motor
- Verificador del nivel del aceite
- El llenado de agua al radiador

Hasta aquí sólo hemos tratado de describir el motor. Ahora abordaremos el generador.

#### 5.5. EL GENERADOR SINCRONO -

- ♦ DESCRIPCION GENERAL.- Es una máquina que produce corriente alterna, diseñada para acoplarse directamente a un motor de combustión interna, estacionario, que la impulsa.

Los generadores son de varios tamaños, dependiendo de la capacidad de la planta eléctrica.

Los generadores síncronos de las plantas eléctricas incluyen, además del generador, la unidad de excitación

que suministra corriente continua a las bobinas del campo rotatorio. Un regulador automático de voltaje que mantiene el voltaje de salida del generador dentro del rango permisible, independientemente de los cambios de la corriente de carga.

Los controles del generador, así como los elementos que se encuentran instalados en un solo gabinete, independiente del interruptor de transferencia, el cual puede ser del tipo autosoportado para montar en pared, de acuerdo a las especificaciones requeridas por el cliente.

◆ SISTEMA DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA.- El sistema de transferencia automática se usa en las plantas eléctricas automáticas, ya que éstas deben:

- Arrancar cuando falla la energía de suministro normal de la C.F.E.
- Alimentar la carga
- Salir del sistema (planta diesel eléctrica) cuando la energía normal se restablece.
- Parar la planta; todo en forma automática

Este sistema se usa en aquellos lugares en que la falta de energía eléctrica puede causar graves trastornos, pérdidas económicas considerables o pérdidas de vidas. Se compone de dos partes:

- a). El interruptor de transferencia
- b) El circuito de control de transferencia

- ♦ **EL INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA.**- Su función es la de conectar las líneas de energía eléctrica de emergencia a la carga, haciendo el cambio de inmediato cuando se restablece el suministro normal.

Consiste este tablero de transferencia de un tablero de carga única, operado eléctrica o mecánicamente, que es capaz de manejar toda la energía del generador. 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.

- ♦ **LAS CARGAS.**- Muchos tipos de carga demandan más corriente al arranque que en servicio, por ejemplo: los motores demandan cinco veces aproximadamente la corriente de servicio al arranque. Más importante aún, las lámparas incandescentes demandan 18 veces su corriente normal durante el primer instante de operación (0.3 seg.). Por lo tanto, los contactos deberán de tener la capacidad térmica adecuada para soportar estas corrientes, de lo contrario se soldarían.

- ♦ VELOCIDAD DE OPERACION.- Se entiende por velocidad de operación el tiempo en que control transfiere cambiando la alimentación del servicio manual (que falló) al servicio de emergencia.

El tiempo de interrupción solamente no tiene mayor importancia, comparado con el tiempo que tarda la planta en arrancar (5 a 10 seg.). Pero en la transferencia, este tiempo sí puede llegar a ser importante.

Cuando falla la energía comercial, siempre existe un tiempo de no energía, o sea mientras arranca la planta y se hace la transferencia de 5 a 10 segundos.

Si nuestro caso fuera de equipos como computadoras, que no pueden tolerar una interrupción "tan prolongada", se deberá complementar el equipo automático con una unidad de continuidad, con lo que se puede reducir la interrupción de energía hasta 0.017 segundos, que es poco menos de un ciclo de 60 hz.

- ♦ CIRCUITO DE CONTROL DE TRANSFERENCIA- Sirve para:
  - Dar la señal para que arranque la planta cuando falta la energía normal
    - Ordenar la transferencia de carga
    - Dar la señal de paro de máquina
    - Ordenar la transferencia de carga

Sacar la planta de servicio

- Avisar en caso de falla

Es, por decir así, el "cerebro" de la planta.

- Además efectúa las siguientes funciones:

- ◆ Detecta el voltaje comercial y las fallas de energía.
  - ◆ Bajo una falla de energía, manda la señal a la máquina generadora para que arranque, cerrando los contactos remotos de la máquina.
  - ◆ Cuando la planta generadora alcanza el voltaje y frecuencia nominal, el control lo detecta y permite que el interruptor realice la transferencia y así la energía pase de la planta a la carga.
  - ◆ Cuando regresa la energía normal, el control lo detecta, hace parar la planta y se encarga de que la transferencia se realice.
- El circuito de control de transferencia está integrado por varias secciones, las cuales son:
    - a) Sección del control del voltaje de línea
    - b) Sección de transferencia y paro

- c) Sección de prueba
- d) Sección de instrumentos
- e) Mantenedor de carga de baterías

Todas, en conjunto, realizan las operaciones antes mencionadas.

- ♦ SECCION DE PRUEBA.- Como las plantas eléctricas automáticas pueden llegar a no funcionar cuando más se les necesita, se ha incluido en las unidades de transferencia un interruptor de prueba que hace que la planta arranque, trabaje y pare, con lo cual permite al operador estar seguro que la máquina está en condiciones de operación y, al mismo tiempo, localizar fallas que pueden ser corregidas oportunamente.

Este ejercicio nos permite cerciorarnos de que la planta va a funcionar en forma adecuada cuando halla una falla de energía.

- ♦ MANTENEDOR DE CARGA DE BATERIAS.- Una de las fallas frecuentes de arranque de una planta es la falla de energía en las baterías. Esto es debido a que se descargan solas cuando están inactivas, acelerándose este proceso en climas cálidos.

Para evitar una posible falla de arranque por falta de

energía, se ha incluido en los circuitos de control un cargador de baterías, el cual tiene por objeto mantener siempre en óptimas condiciones de operación a los acumuladores de la planta.

El cargador de baterías carga los acumuladores y los mantiene del 95 al 100% de su carga total, cuando la máquina no está operando. Esta unidad está conectada a la línea de energía normal (C.A. 127V), bajando el voltaje y rectificando la corriente para efectuar su trabajo de carga.

La unidad tiene 3 posiciones donde se selecciona el rango de carga (baja, media, alta) y un amperímetro donde se registra la cantidad de corriente de carga. Su funcionamiento es automático.

Algunos aspectos de instalación de este equipo los veremos en el capítulo siguiente.

## CAPITULO VI

### PROYECTO DE INSTALACION

6.1 COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS.- La instalación de la red de conductores eléctricos para cualquier servicio, sea doméstica, industrial o de servicios, requiere un surtido variado de materiales para que su funcionamiento sea regular, seguro y eficaz.

En general, estos materiales pueden clasificarse de acuerdo con las funciones que se les encomiendan, como sigue: interruptor general, para el servicio principal de mando, protección y contadores; el cuadro general de distribución, para el mando, protección y medición de la corriente; los cuadros de circuito; los contactos; interruptores de arranque, etc. Cada uno de estos elementos debe ser cuidadosamente estudiado para conseguir un funcionamiento seguro y económico en condiciones de servicio normal y anormal. La labor del ingeniero consiste en prever el tipo de los servicios eléctricos que se desean o que se necesitan y establecer los planos y especificaciones que definen la instalación adecuada. Las calidades de los materiales empleados en las instalaciones y la eficiencia, economía y rendimiento de los distintos sistemas deben ser detallados. La experiencia en las aplicaciones eléctricas y en la

redacción de proyecto es esencial para que el estudio sea correcto.

Este capítulo tiene como propósito mostrar algunos cálculos que respaldan el por qué del equipo escogido para esta planta de bombeo.

**6.2 CALCULOS DEL EQUIPO DE BOMBEO.-** Como ya mencionamos anteriormente, los datos de operación de la planta son los siguientes:

Gasto mínimo (época de estiaje) =  $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$

Gasto máximo (época de lluvia) =  $6.00 \text{ m}^3/\text{s}$

- **Dimensionamiento del cárcamo de bombeo.-** De acuerdo con las normas del WPCF, el tiempo de retención para evitar septicidad, no deberá ser mayor de 30 minutos. Sin embargo, en la antigua SRH, usualmente se empleó un tiempo de 45 minutos que serán los considerados en este caso.

Gasto = 125 LPS

Volumen requerido =  $0.125 \times 45 \times 60 = 337.5 \text{ m}^3$

Como este volumen lo dividiremos en 3 cárcamos, cada uno tendrá un volumen de:

$$\text{Volumen requerido} = \frac{337.5}{3} = 112.5 \text{ m}^3$$

Por supuesto, si es menor este volumen útil, será mejor para evitar la septicidad.

- **Ciclos de operación.**- Para garantizar una vida útil económica, tanto de los motores de los transformadores, se deberá establecer un ciclo entre "arranque-paro-arranque" de una misma bomba, no menor de 60 minutos. El arranque de los equipos se turnará, por lo que este tiempo será entre seis:

$$V = \frac{q \times T}{4} ; \quad \frac{T = 60}{6} = 10 \text{ minutos}$$

V = Volumen mínimo requerido

q = Gasto de uno de los equipos (1.00 m<sup>3</sup>/s)

T = Tiempo del ciclo (10 min.)

$$V = \frac{1.00 \times 10 \times 60}{4} = 150 \text{ m}^3$$

Como este volumen lo dividiremos en 3 cárcamos, cada uno tendrá un volumen de:

$$V = \frac{150}{3} = 50 \text{ m}^3$$

- Disposición de los equipos.- Se considerarán, tanto las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, como los del Instituto de Hidráulica.
- Velocidad del agua en el cárcamo.- Canal de distribución: De acuerdo a recomendaciones no deberá exceder de 0.61 m/s- (2 pies/seg.). Supongamos un cárcamo redondo de 5.30 m. de diámetro y consideremos que el canal de distribución sea de 2.00 m. de ancho.

$$\text{Gasto} = 2.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Area niv. mínimo} = 2.5 \times 2 = 5 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad del agua} = \frac{2}{5} = 0.4 \text{ m/s}$$

$$0.4 \text{ m/s} < 0.61 \text{ m/s}$$

Debido a que la diferencia de niveles es de 2.5 m. y el diámetro del cárcamo de 5.30 m., el volumen útil y de bombeo será:

$$V = \frac{2.5 \times \pi \times 5.3^2}{4} = 55 \text{ m}^3 \text{ (55.1546)}$$

$$55 \text{ m}^3 < 112.5 \text{ m}^3 \text{ (septicidad)}$$

$$55 \text{ m}^3 > 50 \text{ m}^3 \text{ (arranque)}$$

∴ El cárcamo es adecuado

## PLANTA Y ELEVACION DEL CARCAMO

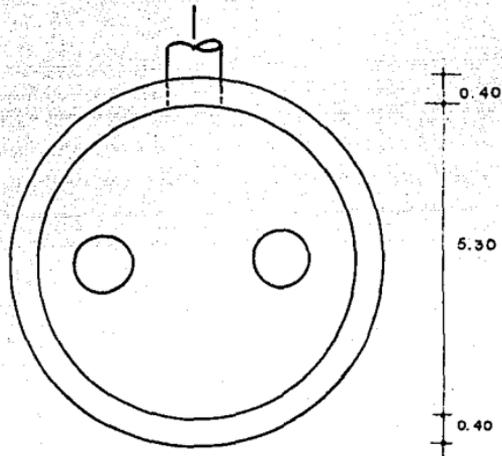
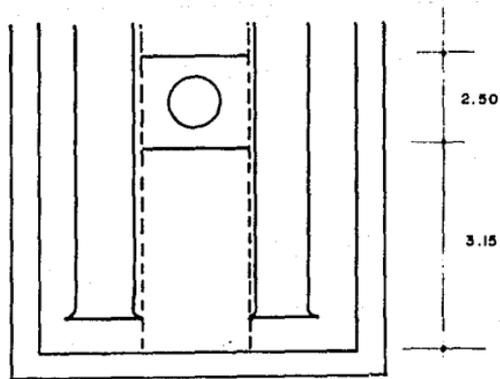


FIG. VI-I

PLANTA



ELEVACION

2.00  
canal de dia

5.30

## CORTE TRANSVERSAL DEL CARCAMO

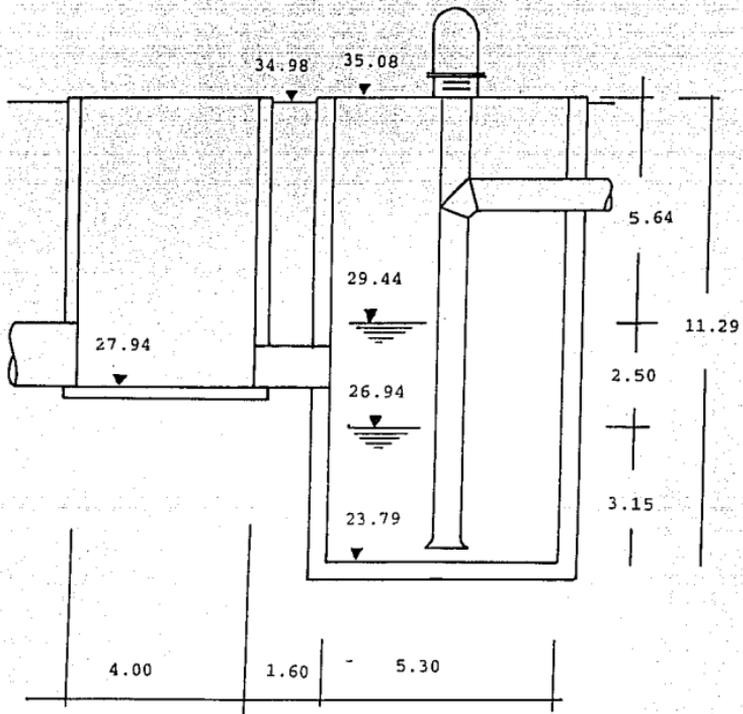


Fig.VI-2

## VISTA EXTERIOR DEL CARCAMO

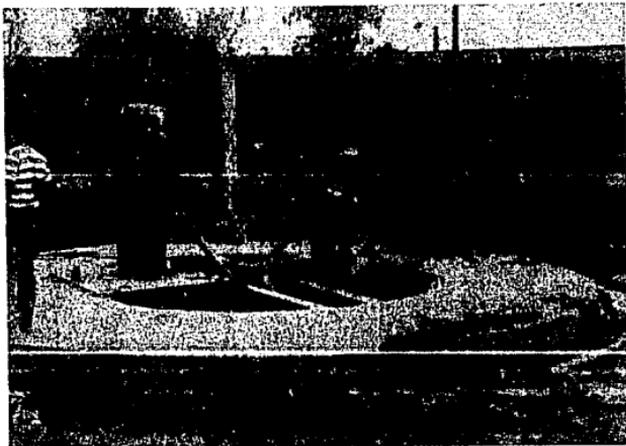


Fig.VI-3

♦ Datos del proyecto.-

Cota nivel de piso de operación en el	
cárcamo	= 35.08 m.
Cota nivel de fondo en el cárcamo	= 23.79 m.
Cota máxima tubo de descarga	= 38.74 m.
Gasto máximo	= 6.00 m <sup>3</sup> /s
Cota instalación de equipos	= 35.08 m.
Número de equipos	= 6
Capacidad de cada equipo	= 1.00 m <sup>3</sup> /s
Longitud tubería de descarga	= 45 m.

♦ Pérdidas por fricción:

Velocidades: considerando un tubo CED 20 de 24" Ø  
(diámetro):

$$V = \frac{Q}{\bar{A}} = \frac{1}{\frac{\pi \times (0.6096)^2}{4}} = \frac{1}{\pi \times 0.0929} = 3.4264 \text{ m/s}$$

Considerando un tubo CED 20 de 30" de diámetro:

$$V = \frac{Q}{\bar{A}} = \frac{1.00}{\pi \times (0.7620)^2} = 2.1928$$

Tomando en consideración el dato anterior, así como:

- pérdidas en la tubería
- pérdidas en la columna
- pérdidas en piezas especiales

entre otros datos, efectuando los cálculos tanto con tubo de 24" como de 30", se selecciona la tubería de 30" de diámetro con motores de 200 HP, con un factor de servicio de 1.15.

### 6.3 CALCULO DE LA PLANTA GENERADORA DE EMERGENCIA.

#### ♦ Tanque de combustible diesel:

Operación de emergencia durante dos horas diarias para un mes de almacenaje:

$$\text{Consumo} = 0.31 \text{ lts/Kw.Hr.}$$

$$\text{Consumo} = 0.31 \times 2 \times 30 \times 1.200 = 22.32$$

Tanque cilíndrico en posición vertical.

Ø (diámetro) = 2.80 m.

$$L = \frac{22.32}{\frac{3.14 \times 2.8^2}{4}} = 3.6248$$

Dejaremos 0.20 m. abajo y 0.50 m. arriba como volumen muerto para evitar derrames.

	MOTOR				MOTOR ARRANCANDO		MOTOR TRABAJANDO		CARGA ACUMULADA MAS MOTOR ARRANCANDO		CARGA ACUMULADA	
	HP	CODIGO	Ø :	VOLTS	KVA	KW	KVA	KW	MAX KVA	MAX KW	CONT KVA	CONT KW
ALUMBRADO											10	10
MOTOR Nº 1	200	F	3	440	481	120	183	164	491	130	193	174
MOTOR Nº 2	200	F	3	440	481	120	183	164	674	294	376	338
MOTOR Nº 3	200	F	3	440	481	120	183	164	857	458	559	502
MOTOR Nº 4	200	F	3	440	481	120	183	164	1,040	622	742	666
MOTOR Nº 5	200	F	3	440	481	120	183	164	1,223	786	925	830
MOTOR Nº 6	200	F	3	440	481	120	183	164	1,406	950	1,108	994

Dos plantas de 750 KVA, 600 KW continuos.

+ CALCULO DE PLANTA GENERADORA DE EMERGENCIA

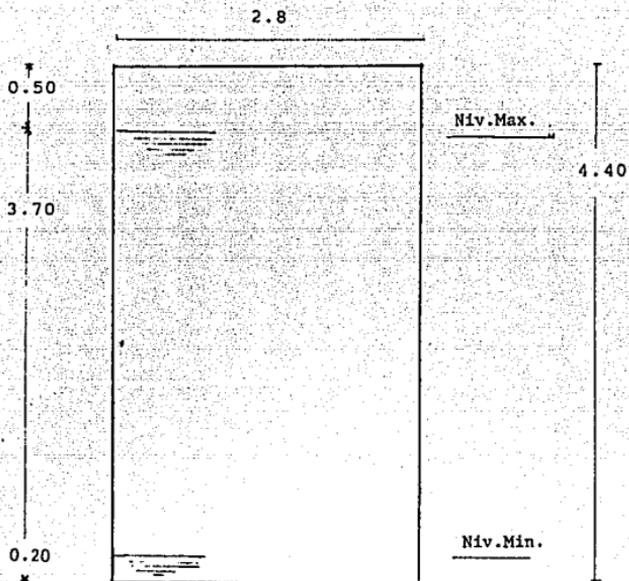


Fig VI-4

Dimensiones del cajón contenedor del diesel en caso de fuga:

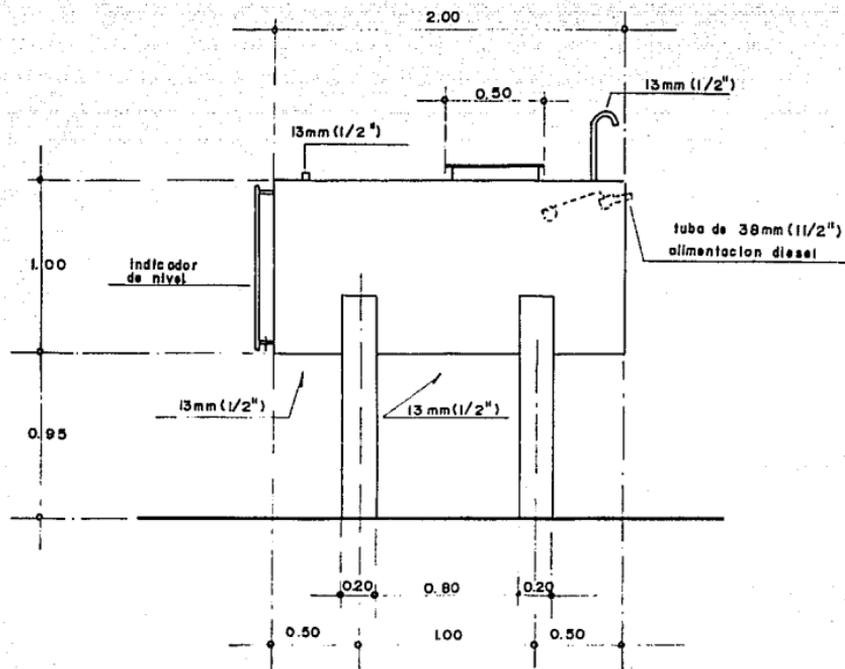
$$\text{Volumen total} = \frac{3.14 \times 2.8^2 \times 3.6248}{4} = 22.31 \text{ m}^3$$

Suponiendo una altura de 1.30 m.

$$\frac{22.31}{1.3} = 4.1436 \text{ m.}$$

Se tendrá un cuadro de 4.20 m. por lado.

## TANQUE DE DIARIO



TANQUE DE DIARIO 1500 LTS.

FIG. VI-6

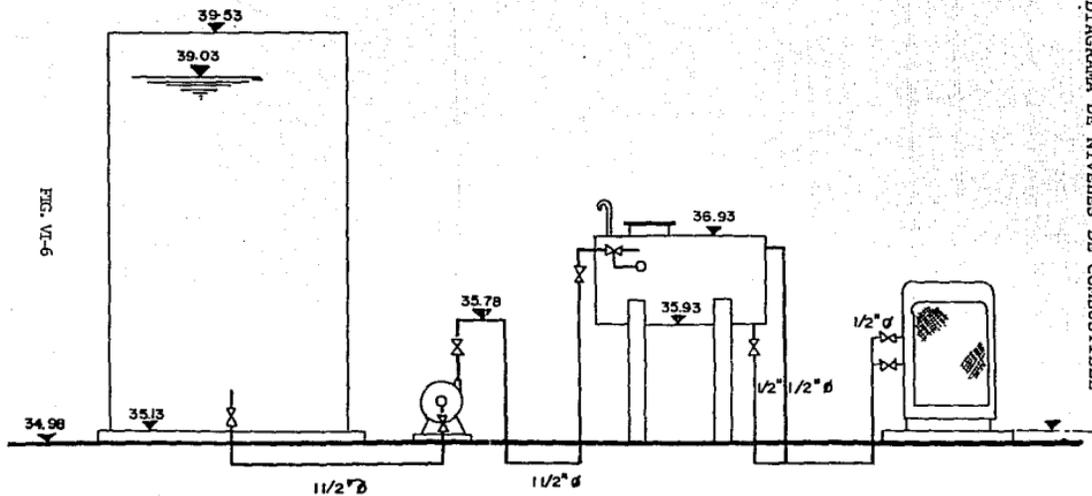
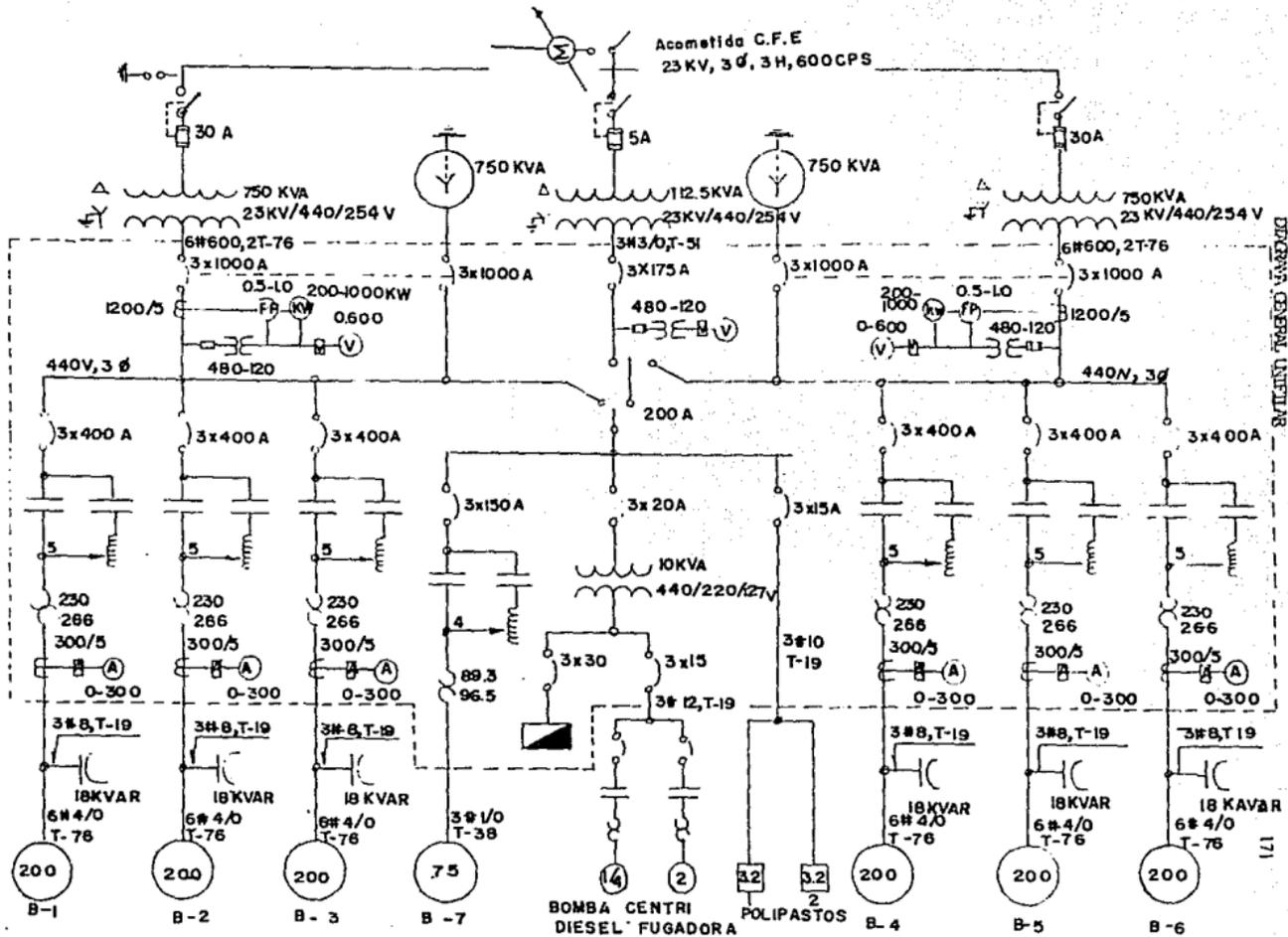


DIAGRAMA DE NIVELES DE COMBUSTIBLE

ESQUEMATICO DE NIVELES EN SISTEMA DIESEL

Acometida C.F.E  
23 KV, 3 $\phi$ , 3 H, 600 CPS



DISEÑO GENERAL SISTEMA

- ♦ Tanque de diario.- El tanque de diario se dimensionará considerando las dos plantas, trabajando 4 horas por un día de operación.

$$\text{Consumo} = 0.31 \times 4 \times 1,200 = 1,488 \text{ Lt.}$$

Tanque cilíndrico en posición horizontal:

Diámetro  $\phi = 1 \text{ m.}$

$$L = \frac{1,488}{\frac{3.14 \times 1^2}{4}} = 1.89 \text{ m.}$$

$$L = 2 \text{ m.}$$

$$\text{Volumen total} = \frac{2 \times 3.14}{4} = 1.5708 \text{ lts.}$$

#### 6.4 CALCULO DE TRANSFORMADORES PARA LA EPOCA DE LLUVIA-

Tenemos las siguientes cargas:

$$6 \text{ motores de } 200 \text{ HP} = 1,200 \text{ HP}$$

$$\text{KVA} = \frac{0.746 \times 1,200}{0.9 \times 0.85} = \frac{895.20}{0.7650} = 1,170.1961 \text{ KVA}$$

Se instalarán 2 transformadores de 750 KVA cada uno, trabajando independientes. 23KV/440/254V.

- ♦ Transformador para la época de estiaje.- Se tienen las siguientes cargas:

1 motor de 75 HP

1 motor de 3.2 HP

1 motor de 2 HP

1 motor de 0.25 HP

Alumbrado 6 KVA

$$\text{KVA} = \frac{0.746 \times 80.45}{0.9 \times 0.85} = 78.45$$

$$\text{KVA TOTALES} = 6 + 78.45 = 84.45$$

Se instalará un transformador de 112.5 KVA.

23 KV - 440/254 Volts.

♦ Transformador de alumbrado.- Contará con las siguientes cargas:

1 motor de 2 HP

1 motor de 0.25 HP

Alumbrado 6 KVA

$$\text{KVA} = \frac{0.746 \times 2.25}{0.9 \times 0.85} = 2.1941$$

$$6 + 2.1976 = 8.19 \text{ KVA}$$

Se instalará un transformador tipo seco, 3  $\phi$ , de 10 KVA.

440 - 220/127 V.

## 6.5 CALCULO DE FUSIBLES E INTERRUPTORES DE PROTECCION

Transformador de: 750 KVA

La corriente nominal en el primario del transformador será:

$$I_p = \frac{\text{KVA}}{1.73 \times \text{KV}} = \frac{750}{1.73 \times 23} = 18.8490$$

Factor de seguridad = 1.25

$I_f = 18.84 \times 1.25 = 23.56 \text{ Amp.}$

El fusible a emplear será de 30 Amp.

Transformador: 112.5 KVA

La corriente nominal en el primario del transformador será:

$$I_p = \frac{112.5}{1.73 \times 23} = 2.82 \text{ Amp.}$$

Factor de seguridad : 1.25

$I_f = 2.82 \times 1.25 = 3.525$

El fusible a emplear será de 5 Amp.

♦ Interruptor secundario del transformador de 750 KVA.-

$$I_{\text{nom.}} = \frac{750}{1.73 \times 0.44} = 984.119$$

El interruptor será:

Tipo:	Termomagnético
Amperes:	1,000 Amp.
No. de polos:	3
Marco	1,000 Amp.
Capacidad interruptiva:	30,000 Amp. sim.
Voltaje:	600 V.

- ◆ Interruptor primario del transformador de alumbrado.- El cálculo se hará considerando la capacidad del transformador y no la carga instalada.

$$I_{nom} = \frac{KVA}{1.73 \times KV} = \frac{10}{1.73 \times 0.44} = 13.13 \text{ Amp.}$$

Factor de seguridad = 1.5

$$I_i = 13.13 \times 1.5$$

El interruptor será:

Tipo:	Termomagnético
Amperes:	20 Amp.
No. de polos	3
Marco:	100 Amp.
Capacidad interruptiva:	25,000 Amp. sim.
Voltaje:	600 V.

## 6.6 CABLES ALIMENTADORES.-

- a) Del: Transformador de 750 KVA  
 Al: Interruptor de 1,000 Amp. en el Centro de Control de Motores.

El cálculo se hará considerando la carga instalada.

$$\begin{aligned} I \text{ motores} &= 1 \text{ motor mayor} \times 1.25 + \text{Amp. motores} \\ &= 256 \times 1.25 + (256 \times 2) = 832 \text{ Amp.} \end{aligned}$$

De acuerdo a la tabla 302.4 de la NTIE-81S se seleccionan dos conductores por fase calibre 600 MCM.

Verifiquemos este calibre por caída de tensión.

$$P = \frac{2 \times I \times L}{V_n \times H} \quad \begin{array}{l} P = \text{Porcentaje de caída} \\ I = \text{Corriente nominal} \\ L = \text{Longitud del circuito en m.} \\ V_n = \text{Voltaje fase-neutro} \\ A = \text{Area del conductor en mm}^2 \end{array}$$

$$P = \frac{2 \times 832 \times 30}{254 \times 608} = 0.32\%$$

Por lo tanto, el conductor será:

Calibre	600 MCM
Tipo	THW - 75°C
Voltaje	600 V
Corriente máxima	840 Amp.
No. por fase	2
En tubo de	2 de 76 mm (3")

b) Cable alimentador.-

Del: Transformador de 112.5 KVA

Al: Interruptor de 175 Amp. en el C.C.M.

El cálculo se hará considerando la capacidad del transformador y no la carga instalada.

$$I_{nom} = \frac{KVA}{1.73 \times KV} = \frac{112.5}{1.73 \times 0.44} = 147.79$$

Factor de seguridad 1.25

Factor de agrupamiento 1.00

Factor de temperatura 1.00

$I_c = 1.47 \times 1.25 = 184.74$  185 amp.

De acuerdo a la tabla 302.4 de los NTIE-81, seleccionamos un conductor calibre 3/0 AWG. La caída de tensión en este cable será:

$$P = \frac{2 \times 147.79 \times 15}{254 \times 107} = 0.16\%$$

El conductor será:

Calibre	3/0 AWG
Tipo	THW-75°
Voltaje	600 V
Corriente máxima	200 Amp.
No. por fase	1
En tubo de	51 mm (2") Ø

c) Cable alimentador.-

Del: arrancador

Al: motor de 200 HP

$$\text{Inom.} = \frac{746 \times \text{HP}}{1.73 \times V \times \eta \times \text{FP}} = \frac{746 \times 200}{1.73 \times 440 \times 0.9 \times 0.816} = 266.89 \text{ Amp.}$$

Factor de seguridad: 1.25

Factor de agrupamiento: 80%

Factor de temperatura: 100%

$I_c = 266 \times 1.25 = 333.61 \text{ Amp.}$

De acuerdo a la tabla 302.4 de las NTIE-81 se selecciona un conductor calibre 4/0 AWG. La caída de tensión será

$$P = \frac{2 \times I \times L}{V_n \times A}$$

P = % de caída

I = Corriente nominal

L = Longitud del circuito en m.

$V_n$  = Voltaje fase-neutro

A = Area del conductor en mm<sup>2</sup>

P. Máx. = 5% desde el transformador

$$P = \frac{2 \times 266 \times 33}{254 \times 214} = 0.32\%$$

$$P. \text{ Total} = 0.32 + 0.32 = 0.64\% < 5\%$$

El conductor será:

Calibre	4/0 AWG
Tipo	THW - 75°C
Voltaje	600 V
No. por fase	2
En tubo de	76 mm (3") Ø
Corriente máxima	333 Amp.

d) Cable alimentador.-

Del: Arrancador

Al: Motor de 75 H.P.

$$\text{Inom.} = \frac{746 \times \text{HP}}{1.73 \times \text{V} \times \sqrt{3} \times \text{FP}} = \frac{746 \times 75}{1.73 \times 440 \times 0.9 \times 0.85} = 96 \text{ Amp}$$

Factor de seguridad: 1.25

Factor de agrupamiento: 1.00

Factor de temperatura: 1.00

$$I_c = 96 \times 1.25 = 120 \text{ Amp.}$$

De acuerdo a tablas (302.4 de las NTIE-81), se selecciona un conductor calibre 1/0 AWG.

De manera que el conductor será:

Calibre	1/0 AWG
Tipo	THW - 75°C
Voltaje	600 V
No. Por fase	1
En tubo de	38 mm (1 1/2") Ø
Corriente máx.	150 Amp.

#### 6.7. CORTO CIRCUITO

##### ♦ Falla de corto circuito

La protección de las redes de distribución o alimentación en este caso, consiste básicamente de dos aspectos, la protección contra sobre-tensiones y la protección contra corto circuito. Este último tiene que ver, desde luego, con la determinación de las corrientes de corto circuito, por lo que se hará una breve descripción de este estudio, partiendo de la consideración de una falla trifásica que da resultados aproximados, pero que son confiables y permiten hacer con rapidez estos cálculos sin necesidad de requerir de elementos adicionales como es la computadora para estudios más precisos.

##### ♦ Estudio de corto circuito

En los sistemas de potencia grandes y en las instalaciones industriales se deben determinar las

corrientes de corto circuito en distintos puntos para seleccionar el equipo de protección y efectuar una coordinación en forma adecuada; para esto, y a pesar de existir literatura especializada sobre el tema, se dará un enfoque en forma muy elemental.

Se entenderá por corto circuito o circuito corto a una falla que se presenta en una instalación y que demanda una corriente excesiva denominada corriente de corto circuito en el punto de ocurrencia. 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 fallas, la más probable de ocurrir es la denominada falla de línea a tierra y los métodos de análisis normalmente empleados son aquéllos que tratan las redes en condiciones de asimetría debido a que, a excepción de la falla trifásica, las otras son asimétricas; un método empleado es el llamado de las componentes simétricas.

En el estudio de corto circuito se consideran básicamente dos tipos de elementos: las fuentes (elementos activos) y

los elementos pasivos. Son fuente de corto circuito aquellos elementos que suministran la corriente al puerto de falla, que en general se puede decir que son todas las máquinas rotativas:

- ♦ Alternadores
- ♦ Condensadores síncronos
- ♦ Motores síncronos
- ♦ Motores de inducción

El paso inicial para un estudio de corto circuito es disponer de un diagrama unifilar en donde se representen todos los elementos de la instalación que interesen para este estudio, como son: generadores, motores transformadores, líneas, tableros, etc., según sea el caso.

En el aspecto de las impedancias, se puede observar que éstas pueden estar dadas en ohms, ohms/km o por unidad de longitud, expresadas en por ciento o en por unidad, que son formas muy comunes de encontrar esta información.

- ♦ Cantidades en por unidad (P.U.) y en por ciento (%)

Es frecuente expresar el voltaje, las corrientes, los KVA y la impedancia de un circuito en p.u. retenidas a un valor base o de referencia que se elige para cada una de tales magnitudes. Por ejemplo, si se elige un voltaje

base de 120 kv, los voltajes cuyos valores sean 108, 120, 126 kv se transforman en:

$$\frac{108}{120} = 0.90 \quad ; \quad \frac{120}{120} = 1.0 \quad ; \quad \frac{126}{120} = 1.05$$

por unidad, ó 90, 100 y 105% respectivamente.

El valor p.u. de una magnitud cualquiera (volts, amperes, KVA, etc) se define como cociente de su valor a un valor base, expresado como un decimal.

El valor por ciento es 100 veces el valor por unidad.

Teniendo esta teoría como base, calculamos la corriente de corto circuito de este proyecto.

• **Consideraciones.-**

- Aportación de la fuente = 500 MVA
- Impedancia de los transformadores:
  - 112.5 KVA = 4.5%
  - 750 KVA = 5.75%
- Impedancia equivalente de los motores = 25%
- KVA base = 1,000 KVA
- Nunca trabajarán en paralelo los transformadores

**Suministro Fuente.-**

$$Z_{0/1} = \frac{\text{KVAbase}}{\text{KVAfuente}} = \frac{1,000}{500,000} = 0.002$$

Transformador de 750 KVA.-

$$Z_{0/1} = \frac{\text{KVAbase}}{\text{KVAtans.}} \times Z_{t\ 0/1} = \frac{1,000}{750,000} \times 0.0575 = 0.0767$$

Transformador de 112.5 KVA.-

$$Z_{0/1} = \frac{1,000}{112.5} \times 0.045 = 0.4$$

Cable 2 X fase de 600 MCM (Long. = 30 m.).-

$$Z = 0.00540 \ \Omega/100' \text{ (1 conductor)}$$

$$Z = 0.00270 \ \Omega/100' \text{ (2 conductores)}$$

$$100 \text{ pies} = 30.49 \text{ m.}$$

$$Z = 0.0000885 \ \Omega/\text{m.}$$

$$Z = 0.002656 \ \Omega$$

$$Z_{0/1} = \frac{Z \times \text{KVAbase}}{\text{KV}^2 \times 1,000} = \frac{0.002656 \times 1,000}{0.44^2 \times 1,000} = 0.0137 \ \Omega$$

Cable 1 x Fase de 4/0 AWG (Long. = 15 m.).-

$$Z = 0.085 \ \Omega/100'$$

$$Z = 0.0002787 \ \Omega/\text{m.}$$

$$Z = 0.004181 \ \Omega$$

$$Z_{0/1} = \frac{0.004181 \times 1,000}{0.44^2 \times 1,000} = 0.0216 \Omega$$

Cable 2 x Fase de 4/0 AWG (Long. = 33 m.) .-

$$Z = 0.0085 \Omega/100' \text{ (1 conductor)}$$

$$Z = 0.00425 \Omega/100' \text{ (2 conductores)}$$

$$Z = 0.0001393 \Omega/m.$$

$$Z = 0.0046 \Omega$$

$$Z_{0/1} = \frac{0.0046 \times 1,000}{0.44^2 \times 1,000} = 0.0237$$

Cable 1 x Fase de 1/0 AWG (Long. = 21 m.) .-

$$Z = 0.012 \Omega/100'$$

$$Z = 0.0003935 \Omega/m.$$

$$Z = 0.008265 \Omega$$

$$Z_{0/1} = \frac{0.008265 \times 1,000}{0.44^2 \times 1,000} = 0.0427$$

Motores de 200 HP.-

$$Z_{0/1} = \frac{KVABase}{HP_{motor}} \times X''_{0/1} = \frac{1,000}{600,000} \times 0.025 = 0.416$$

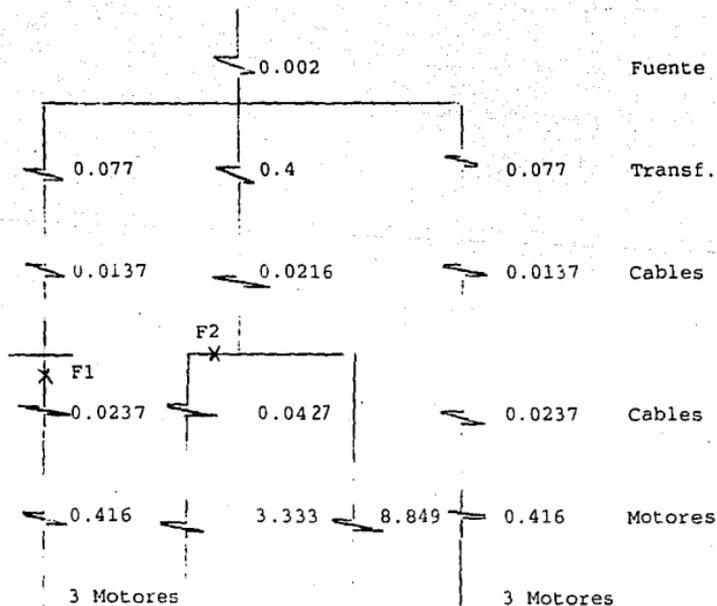
Motores de 75 HP.-

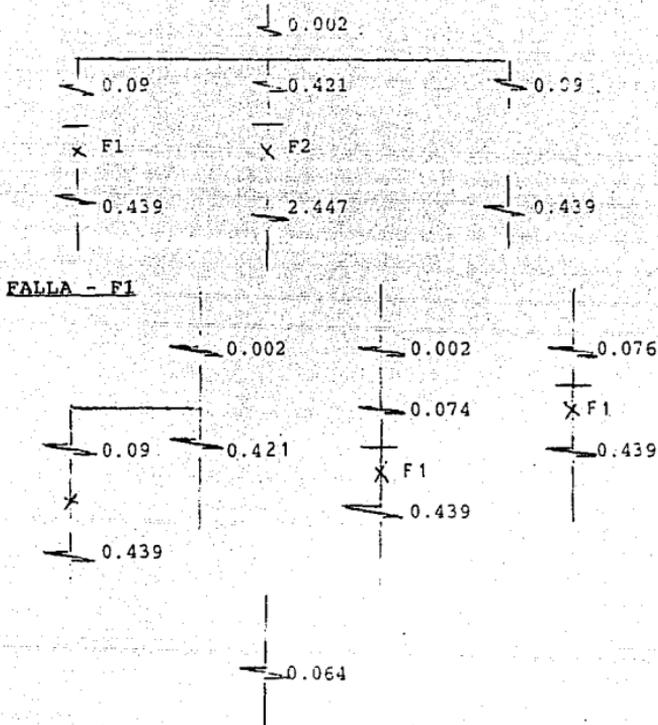
$$Z_{0/1} = \frac{1,000}{75} \times 0.25 = 3.333$$

## Motores Pequeños.-

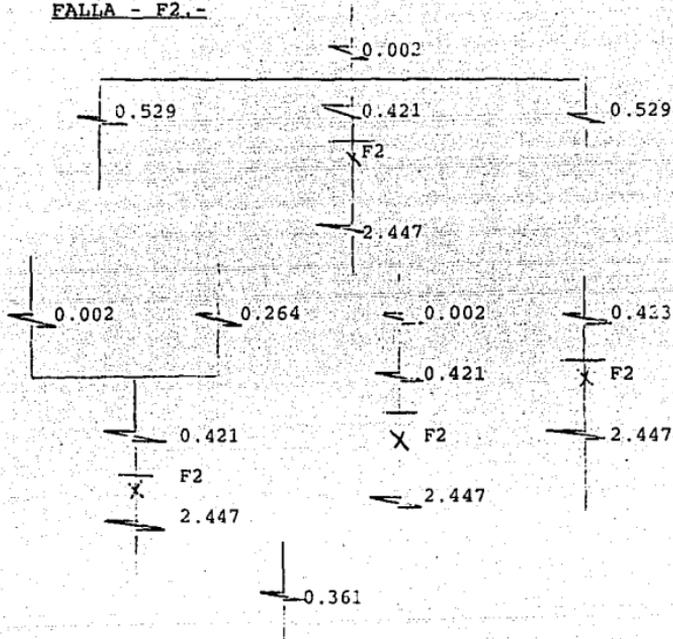
$$Z_{0/1} = \frac{1,000}{28.25} \times 0.25 = 8.849$$

## Diagrama.-



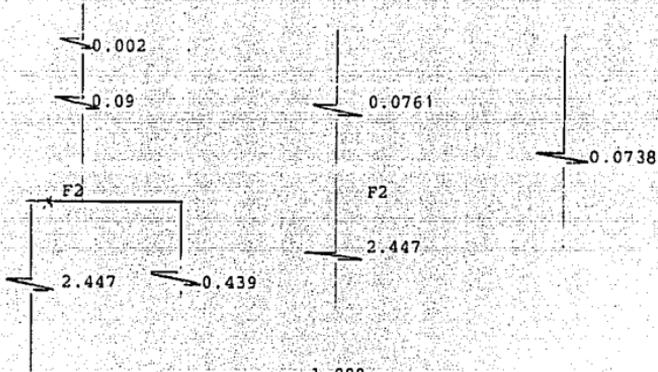


$$\begin{aligned} \text{Amp. sim.} &= \frac{\text{KVabase}}{Z_{0/1} \times 1.73 \times \text{KV}} = \frac{1,000}{0.064 \times 1.73 \times 0.44} \\ &= 20,524 \text{ Amp. sim.} \end{aligned}$$

FALLA - F2.-

$$\text{Amp. sim.} = \frac{1,000}{0.361 \times 1.73 \times 0.44} = 3,642 \text{ Amp. sim.}$$

**FALLA - F2** Trabajando con transformador de 750 KVA



$$\text{Amp. sim.} = \frac{1,000}{0.074 \times 1.73 \times 0.44} = 17,8089 \text{ Amp. sim.}$$

### 6.8 CALCULO DE LA RED DE TIERRAS.-

El sistema consistirá, fundamentalmente, en una red formada por conductores de cobre desnudo, enterrado a 60 cms. abajo del nivel del terreno, complementada con electrodos de tierra Coperweld de 3 m. de longitud y 5/8" de diámetro.

Se conectarán a la red de tierras todos los equipos eléctricos, estructuras metálicas, gabinetes, escaleras, tuberías y en general todas aquellas masas metálicas no portadoras de corriente que pudieran, en un momento dado, quedar energizadas.

- ♦ Calibre del conductor de la red.- El calibre de la red principal se determina por la magnitud de la corriente y el tiempo de flujo, contemplando la elevación de temperatura máxima permisible, la cual será de 450° C, ya que se considerarán conexiones soldables tipo Cadweld.

$$A = 8.7 \times I_{ccr} \sqrt{S}$$

El tiempo de flujo de la corriente de falla se considerará de 0.1 seg., debido a que será un interruptor termomagnético quien la abra.

La corriente de corto circuito máxima que puede circular

por la red será:

$$I_{CCr} = I_{sim.} \times F_d \times F_c$$

En la que consideraremos:

$$F_d = \text{Factor de decremento} = 1.65$$

$$F_c = \text{Factor de crecimiento del sistema} = 0.1$$

La corriente que se debe considerar en este cálculo es la corriente mayor que pueda llegar a circular por la malla. Como la corriente de corto circuito correspondiente al lado de alta tensión fluye por la malla y tierra, se ve ésta afectada por la resistencia de la malla a tierra y resulta, por tanto, inferior a la corriente de corto circuito correspondiente al lado de baja tensión que fluye exclusivamente por la malla.

La corriente obtenida en el cálculo del corto circuito es la de falla trifásica, que puede tomarse como la de falla a tierra.

$$I_{sim.} = 20,526$$

$$I_{CCr} = 20,526 \times 1.65 = 33,867 \text{ Amp. sim.}$$

$$A = 8.7 \times 33,867 \times 0.1 = 93,176 \text{ cm.}$$

Que corresponde a un calibre 1/0 AWG, que tiene una sección de 105,560 cm.

Sin embargo, por razones de resistencia mecánica, emplearemos conductores calibre 4/0 para la malla principal y 1/0 para las derivaciones.

- ♦ **Determinación del número de varillas.-** Las varillas deben instalarse donde los potenciales son mayores, como en las esquinas de la red, para completar la longitud mínima de la malla y para reducir la resistividad del terreno en puntos claves.

El número de varillas se determinará en función al área, para asegurar una resistencia del grupo de ellas de 5  $\Omega$ .

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left( \log_e \frac{4 \times L}{a} - 1 \right)$$

En donde:

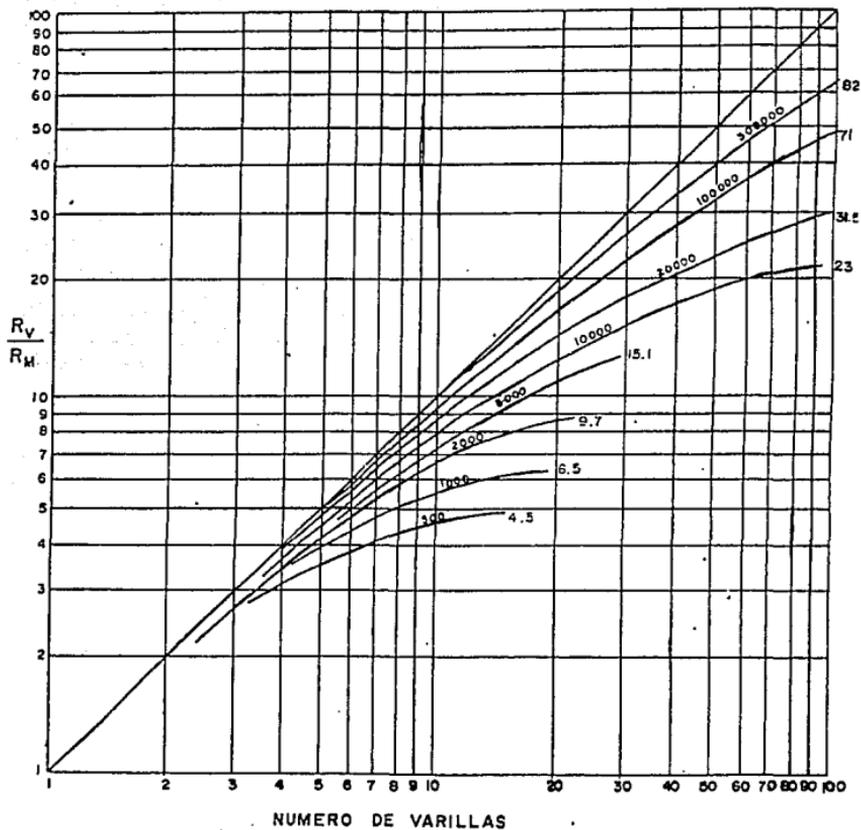
$\rho$  = Resistividad del terreno en  $\Omega/\text{cm}^3$ .

L = Longitud del electrodo en cm.

a = Radio del electrodo en cm.

**NO  
EXISTE  
PAGINA**

## GRAFICA PARA CALCULO DE VARILLAS



Notas: Los números colocados sobre las curvas indican la superficie en pies.  
 Los números colocados en los entresijos de las curvas indican el número de veces mayor que puede reducirse la resistencia de una varilla.

GRAFICA No. 1

nos sirve de base.

La razón de este cambio es que se considera que el valor de 1,000 fue obtenido en condiciones mucho muy especiales, que en la práctica es muy difícil que se presenten, y en cambio nos lleva a diseñar mallas demasiado grandes.

Lo dicho anteriormente se comprueba observando la siguiente tabla:

CONDICIONES DE LA MEDICION	RANGO DE RESISTENCIA
De mano a mano, oprimiendo ligeramente unas herramientas con las manos muy secas	De 400,000 $\Omega$ A 120,000 $\Omega$
De mano a mano, oprimiendo ligeramente unas herramientas con las manos secas	De 80,000 $\Omega$ A 50,000 $\Omega$
De mano a mano, oprimiendo fuertemente unas herramientas con las manos secas	De 50,000 $\Omega$ A 40,000 $\Omega$
De mano a mano, oprimiendo fuertemente unas herramientas con las manos mojadas	De 40,000 $\Omega$ A 25,000 $\Omega$
De mano a mano, oprimiendo fuertemente unas herramientas sumergidas en agua	De 25,000 $\Omega$ A 14,000 $\Omega$
De mano a mano, oprimiendo fuertemente unas herramientas sumergidas en agua con poca sal	De 8,000 $\Omega$ A 4,500 $\Omega$
De mano a mano, oprimiendo fuertemente unas herramientas fuertemente en agua con mucha sal	De 5,000 $\Omega$ A 3,000 $\Omega$

En esta forma la  $E_{\text{paso}}$  queda:

$$E_{\text{paso}} = \frac{(R_k + 2 R_f) I_k}{\sqrt{t}} = \frac{(3,000 + 6 \text{ ps}) 0.165}{\sqrt{t}}$$

$$E_{\text{paso}} = \frac{405 + \text{ps}}{\sqrt{t}} \text{ Volts}$$

y la E de contacto:

$$E_{\text{contacto}} = \frac{(R_k + R_f) I_k}{2} = \frac{(3,000 + 1.5 \text{ ps}) 0.165}{\sqrt{t}}$$

$$E_{\text{contacto}} = \frac{495 + 0.25 \text{ ps}}{\sqrt{t}} \text{ Volts}$$

En consecuencia, la fórmula para determinar la longitud mínima de la red para que no existan tensiones peligrosas al haber una falla quedará:

$$L = \frac{K_m K_i \rho I \sqrt{t}}{495 + 0.25 \text{ ps}}$$

El tiempo que dura la falla será de 0.01 seg. por tener fusibles en la protección en alta tensión.

Aplicando los valores de  $\rho$  tenemos:

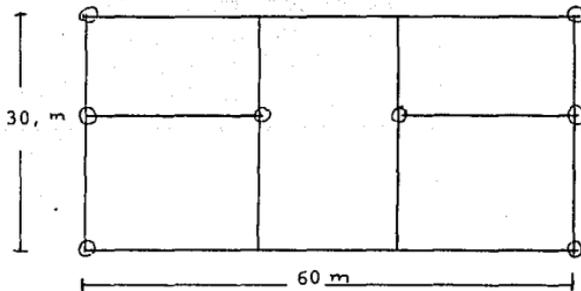
$$E_{\text{paso c/concreto}} = \frac{495 + 8,000}{\sqrt{0.01}} = 84,950 \text{ V.}$$

$$E_{\text{paso c/tierra}} = \frac{495 + 100}{0.1} = 5,950 \text{ V.}$$

$$E_{\text{contacto c/concreto}} = \frac{495 + 0.25 \times 8,000}{0.1} = 24,950 \text{ V.}$$

$$E_{\text{contacto c/tierra}} = \frac{495 + (0.25 \times 100)}{0.1} = 5,200 \text{ V.}$$

♦ Cálculo de la resistencia a tierra.- Consideremos la siguiente red:



Longitud = 280 m.

La resistencia a tierra del cable que forma la malla, está dada por la fórmula:

$$R = \frac{\rho}{4 r} + \frac{\rho}{L} \quad (\text{Según Laurent y Nieman})$$

En donde:

r = Radio en m. de un área circular igual a la ocupada por la red

L = Longitud total de la red

$$A = 1,800 \text{ m}^2 \quad r = \sqrt{\frac{1,800}{\pi}} = 23.93 \text{ m.}$$

$$R = \frac{100}{4 \times 23.93} + \frac{100}{280} = 1.4 \Omega$$

Como esta resistencia está en paralelo con la de las varillas, tenemos:

$$R = \frac{R1 \quad R2}{R1 + R2} + \frac{1.4 \times 5}{1.4 + 5} = 1.09 \Omega$$

Que es la resistencia total del sistema.

- ♦ Cálculo de la corriente que fluye por tierra.- Como se dijo, la corriente considerada en el cálculo del calibre

del conductor de la red fue la del corto circuito en baja tensión, que fluye por la malla. La corriente de corto circuito que fluye por tierra es la correspondiente al lado de alta tensión.

$$I = \frac{\text{KVA}}{\sqrt{3} \cdot \text{KV}} = \frac{500,000}{1.73 \times 23} = 12,566 \text{ Amp.}$$

Tomando en cuenta los factores de decremento y de crecimiento del sistema:

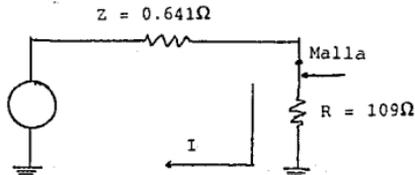
$$I_{cc} = 12,566 \times 1.65 = 20,734 \text{ Amp.}$$

Esta corriente es la de corto circuito trifásico, que podemos tomar como la corriente de corto circuito a tierra, siempre y cuando la afectemos por la resistencia a tierra del sistema.

Sin tomar en cuenta la resistencia a tierra, tenemos:

$$Z = \frac{E}{I_{cc}} = \frac{23,000}{1.73 \times 20,734} = 0.641 \Omega$$

Tomando en cuenta la resistencia a tierra:



Considerando Z totalmente inductiva, tenemos:

$$Z + R = \sqrt{0.641^2 + 1.09^2} = 1.59 \Omega$$

La corriente a tierra corregida será:

$$I_{cc_t} = \frac{E}{Z_t} = \frac{23,000}{1.73 \times 1.59} = 8,361 \text{ Amp.}$$

• Cálculo de potencial de malla.- La fórmula es:

$$E_{\text{malla}} = K_m K_i \frac{I}{L}$$

$$K_m = \frac{1}{2g} \log_e \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{g} \log_e \left( \frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \times \dots \right)$$

$$K_m = \frac{1}{2g} \log_e \frac{15^2}{16 \times 0.6 \times 0.0117} + \frac{1}{g} \log_e \frac{(3)}{(4)} = 1.12$$

$$K_i = 0.65 + 0.172 n$$

n = número de conductores paralelos

Aplicando estos valores:

$$E_{\text{malla}} = \frac{8,361}{1.12 \times 1.166 \times 100 \times 280} = 3,899 \text{ V.}$$

• Cálculo de la longitud mínima requerida.- Como quedó establecido en el inciso 4, la fórmula para determinar la

**NO  
EXISTE  
PAGINA**

$$E_{\text{paso}} = 0.303 \times 1.166 \times 100 \times \frac{8,361}{280} = 1,055 \text{ V.}$$

♦ **Conclusiones.-**

$$E_{\text{malla}} = 3,899 \text{ V.} < E_{\text{contacto}} = 5,200 \text{ V} \text{ ó } 24,950 \text{ V.}$$

tolerable

$$L_{\text{supuesta}} = 280 \text{ m.} > L_{\text{requerida}} = 210 \text{ m.} \text{ ó } 43 \text{ m.}$$

6.9 ALUMBRADO INTERIOR.- El sistema de iluminación interior tendrá por finalidad lograr las condiciones de eficiencia y confort requeridos en oficinas de trabajo técnico.

El diseño de la instalación se realizará en base a los siguientes conceptos:

1. Los niveles de iluminación serán los recomendados por la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación.

2. Se dispondrá del siguiente tipo de luminario:

Fluorescente de 2 X 28 W. 127 V, 60 Hz, tipo Slimline, color luz de día, equipado con balastro de alto factor de potencia, en gabinete de lámina de acero rolada en frío, esmaltada a fuego del tipo sobreponer, marca Elmsa, serie

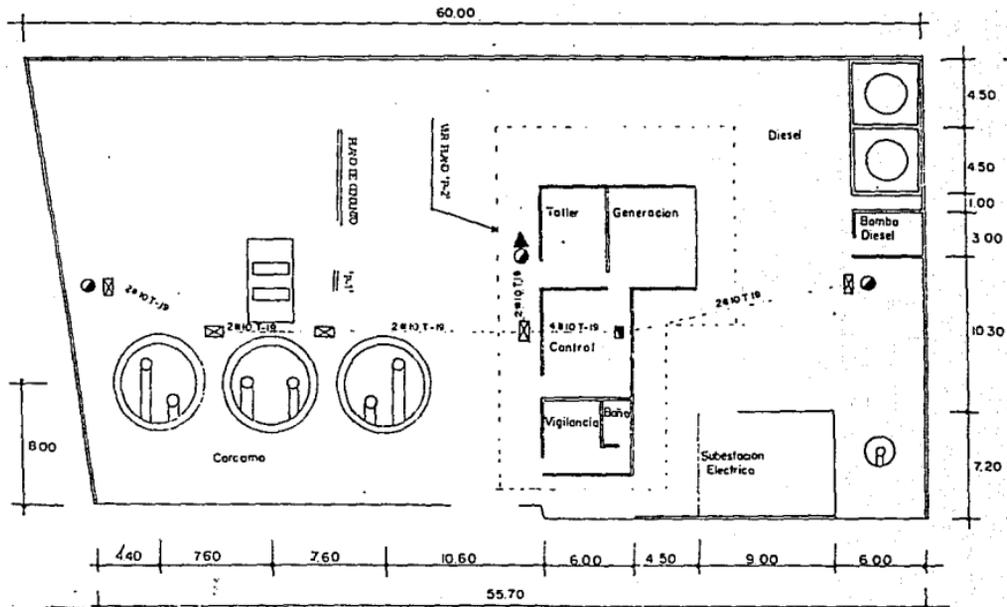
300-3B1 o similar.

3. El cálculo del número de luminarias requeridas para lograr el nivel lumínico recomendable, se realizará por el método de índice de cuarto.

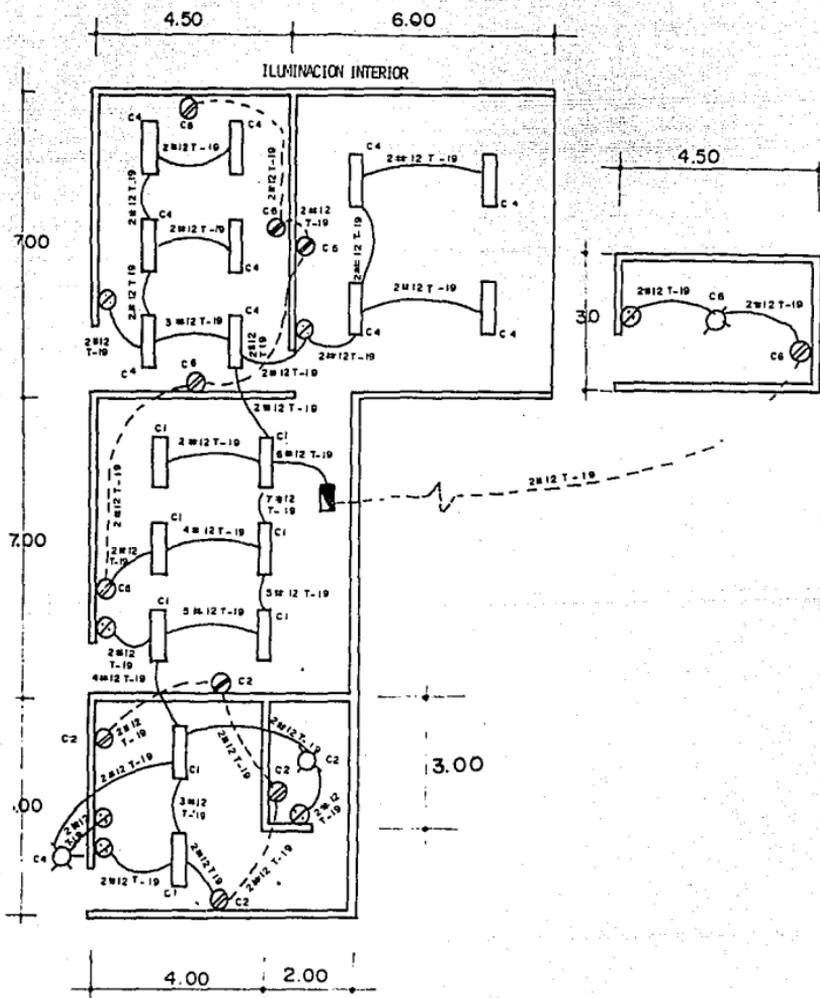
4. Los conductores eléctricos serán de cobre suave, con aislamiento THW para 75°C. 600V, calibre No. 12 AWG.

5. Se considerarán contactos y apagadores alojados en cajas de lámina tipo chalupa, con placa de aluminio anodizado.

A continuación insertamos el plano de conjunto, donde se localizan los lugares que requieren alumbrado y el cálculo de cada uno de ellos.



## PLANO "P-2"



# S I M B O L O G I A

## SIMBOLO

## DESCRIPCION

	Tablero de alumbrado.
	Luminaria fluorescente de 2x38 W, 110 Volts
	Luminaria incandescente 110 W, 110 Volts.
	Arbotante incandescente 150W, 110 Volts
	Luminario en poste de 250 W VSAP.
	Contacto monofasico intercambiable 110 Volts, 10 A
	Apagador monofasico intercambiable 110 Volts.
	Poliducto de 19 mm Ø, ahogado entecho y muro
	Poliducto de 19mm Ø, ahogado en piso y mura.
	Tubo conduit galvanizado ahogado en piso, diametro indicado.
	Celda fotoelectronica

Fig. VI-8

SIMBOLOGIA

TABLERO DE ALUMBRADO						3 Ø - 220/127 Volts.								
WATTS TOTALES	WATTS POR UNIDAD	CANTIDAD	SIMBOLO	INTERRUPT. DERIVADO	CIRCUITO	A	B	C	CIRCUITO	INTERRUPT. DERIVADO	SIMBOLO	CANTIDAD	WATTS POR UNIDAD	WATTS TOTALES
800	100	8	□	15	1	—	—	—	2	15	⊗	1	100	820
						—	—	—	4	15	⊗	4	180	
945	315	3	⊙	15	3	—	—	—	4	15	⊗	10	100	1150
						—	—	—	6	15	⊗	1	150	
						—	—	—	6	15	⊗	6	180	1180
						—	—	—				1	100	
<b>WATTS FASE A 1620</b> <b>WATTS FASE B 1622.5</b> <b>WATTS FASE C 1652.5</b> <b>WATTS TOTALES 4895</b>						<b>Desbalanceo 1.9 %</b>  <b>Localizado en el C.C.M.</b>								

TABLERO DE ALIMENTACION

◆ Cálculo de iluminación

Local: Vigilancia (ver plano de conjunto)

Nivel luminoso (NL)	300 Luxes
Dimensiones:	
Ancho (A)	4 m.
Largo (L)	5 m.
Tipo de alumbrado	Fluorescente
Reflexiones: Piso	30%
Techo	50%
Pared	50%
Altura cavidad del local (ACL)	1.55 m.
Factor de mantenimiento (FM)	0.8
Índice de cuarto (IC)	1.43
Coefficiente de utilización (CU)	0.5088
Lúmenes por luminario (LPL)	6,200
Tipo de luminario	2 X 38 W.
Número de luminarios	2

$$I_c = \frac{L \times A}{ACL (L+A)} = \frac{5 \times 4}{1.55 \times (5+4)} = 1.4337$$

$$\text{No. de luminarios} = \frac{NL \times A \times L}{CU \times FM \times LPL} = \frac{300 \times 4 \times 5}{0.5088 \times 0.8 \times 6,200} = 2.37$$

◆ Cálculo de iluminación

Local: Cuarto de Control

Nivel luminoso (NL)	400 luxes
---------------------	-----------

Dimensiones	Ancho (A)	6.00 m.
	Largo (L)	7.00 m.
Tipo de alumbrado		Fluorescente
Reflexiones:	Piso	30%
	Techo	50%
	Pared	50%
Altura cavidad del local (ACL)		1.55 m.
Factor de mantenimiento (FM)		0.8
Indice de cuarto (IC)		2.08
Coefficiente de utilización (CU)		0.5648
Lúmenes por luminario (LPL)		6,200
Tipo de luminario		2 X 38 W.
Número de luminarios		6

$$I_c = \frac{L \times A}{ACL (L+A)} = \frac{7 \times 6}{1.55 \times (7+6)} = 2.08$$

$$\text{No. de luminarios} = \frac{NL \times A \times L}{CU \times FM \times LPL} = \frac{400 \times 6 \times 7}{0.5648 \times 0.8 \times 6,200} = 5.997$$

◆ Cálculo de iluminación

Local: Taller

Nivel luminoso (NL)		500 Luxes
Dimensiones:	Ancho (A)	4.5 m.
	Largo (L)	7.00 m.
Tipo de alumbrado		Fluorescente
Reflexiones:	Piso	30%

Techo	50%
Pared	50%
Altura cavidad del local (ACL)	1.55 m.
Factor de mantenimiento (FM)	0.8
Indice de cuarto (IC)	1.76
Coefficiente de utilización (CU)	0.54
Lúmenes por luminario (LPL)	6,200
Tipo de luminario	2 X 38 W.
Número de luminarios	6

$$Ic = \frac{L \times A}{ACL \times (L+A)} = \frac{7 \times 4.5}{1.55 \times (7+4.5)} = 1.76$$

$$\text{No. de luminarios} = \frac{NL \times A \times L}{CU \times FM \times LPL} = \frac{500 \times 4.5 \times 7}{0.54 \times 0.8 \times 6,200} = 5.88$$

• Cálculo de iluminación

Local: Cuarto de Generación

Nivel luminoso (NL)		300 Luxes
Dimensiones:	Ancho (A)	6 m.
	Largo (L)	7 m.
Tipo de alumbrado:		Fluorescente
Reflexiones:	Piso	30%
	Techo	50%
	Pared	50%
Altura cavidad del local (ACL)		1.55 m.
Factor de mantenimiento (FM)		0.8
Indice de cuarto (IC)		2.08

Coefficiente de utilización (CU)	0.5648
Lúmenes por luminario (LPL)	6,200
Tipo de luminario	2 X 38 W.
Número de luminarios	4

$$IC = \frac{L \times 4}{ACL (L+A)} = \frac{7 \times 6}{1.55 \times (7+6)} = 2.08$$

$$\text{No. de luminarios} = \frac{NL \times A \times L}{CU \times FM \times LPL} = \frac{300 \times 6 \times 7}{0.5648 \times 0.8 \times 6,200} = 4.49$$

6.10 ALUMBRADO EXTERIOR.- Debido a que la planta no se presta para instalar postería en la parte central de la misma, se especificará curva tipo IV, que presenta una distribución más alargada hacia el frente que la tipo III, colocando los postes principalmente en la periferia de la planta.

La altura de montaje será de 7.5 m. y se utilizará la carta "isoffotcandle" (Isolux) que la compañía Crouse Hinos presenta en sus catálogos, para obtener las curvas de iluminación correspondientes.

Por tratarse de una planta de bombeo con muy poca actividad de operación y un mantenimiento programable, se considerarán 20 luxes promedio y no menos de 5 luxes en puntos oscuros de poco acceso.

Por lo anterior, y considerando que el punto medio entre dos luminarias tiene la aportación de ambos, obtendremos la curva de iluminación para 10 luxes ( $10/10.7 = 0.94$  footcandle).

La gráfica isoffotcandle muestra las curvas para 2.88 y 1.44 footcandle con una altura de montaje de 25 pies (7.2 = 7.5 m) curvas que pasaremos primeramente a la escala 1:300 para distribuir las en nuestro croquis de la planta de bombeo. El factor de altura y relación de lúmenes será de:

$$F_a = 1.00 \quad Y \quad F_l = \frac{3}{5} = 0.6$$

$$\text{Relación} = \frac{\text{Distancia transversal o longitudinal}}{\text{Altura de montaje}}$$

- Curva de 2.88 Fc (1.73 Fc = 18.51 Lux)

Para una relación = 0.90 la distancia transversal = 6.75 m

Para una relación = 1.40 la distancia transversal = 10.50 m

Para una relación = 0.85 la distancia transversal = -6.38 m

- Curva de 1.44 Fc (0.86 Fc = 9.20 Lux)

Para una relación = 2.15 la distancia transversal = 16.13 m

Para una relación = 1.90 la distancia transversal = 14.25 m

Para una relación = -1.20 la distancia transversal = -9.00 m

## GRAFICAS PARA ALUMBRADO EXTERIOR

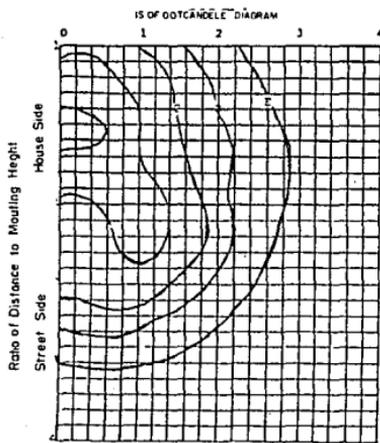
ASL/RSL-4LEC2-EE Luminaire

400 watt 50,000 lumens

High pressure sodium lamp

Type III, short, cutoff classification

Report = 4650C



Footcandle Values for Isofootcandle Lines					Mounting Height
A	B	C	D	E	
11.25	4.50	2.25	1.13	0.45	20'
7.20	2.88	1.44	0.72	0.29	25'
5.00	2.00	1.00	0.50	0.20	30'
3.57	1.47	0.73	0.37	0.15	35'
2.81	1.13	0.56	0.28	0.11	40'

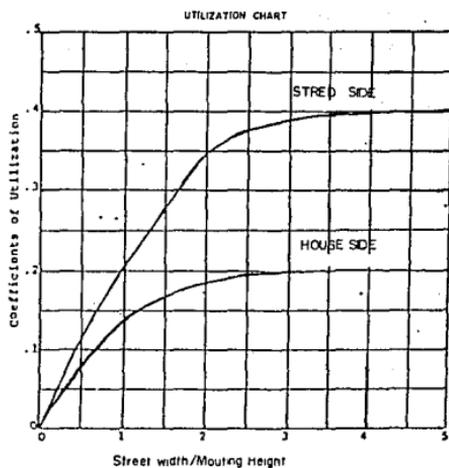
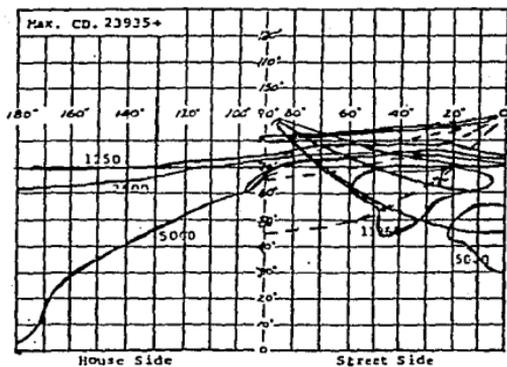


FIG. VI-10

## Flux Distribution

	Lumens	Percent of lomo
Downward Street Side	20096	40.2
Downward House Side	9939	19.9
Downward Total	30035	60.1
Upward Street Side	0	0
Upward House Side	0	0
Upward Total	0	0
Total Flux	30035	60.1

## Isocandela Diagram



Dotted LRL's are at: 1.0 MH, 2.25 MH, 3.75 MH, 6.0 MH,  
 8.0 MH

Solid LRL's are at: 1.0 MH, 1.75 MH, 2.75 MH.

Fig. VI-10'

## ALUMBRADO EXTERIOR

## GRAFICA LAMPARA

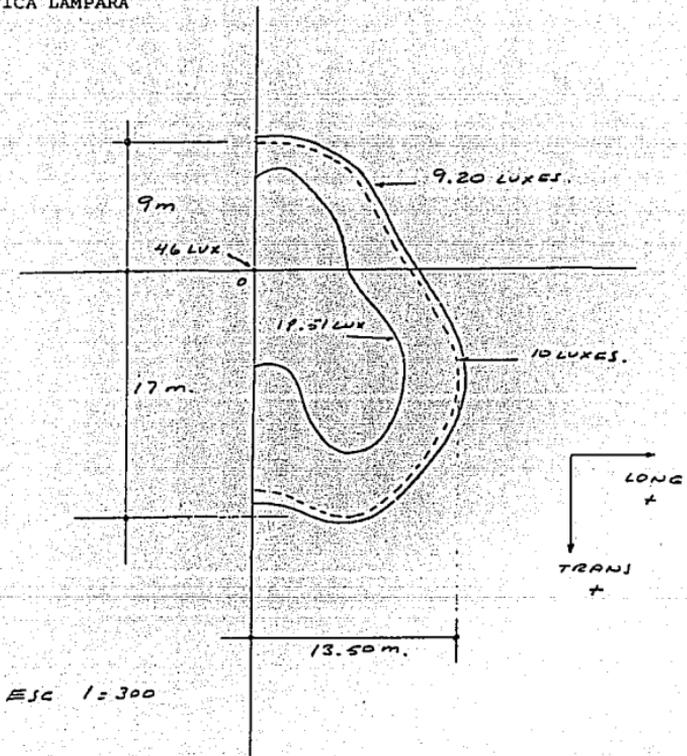


Fig.VI-11

## GRAFICA FINAL DE ALUMBRADO EXTERIOR

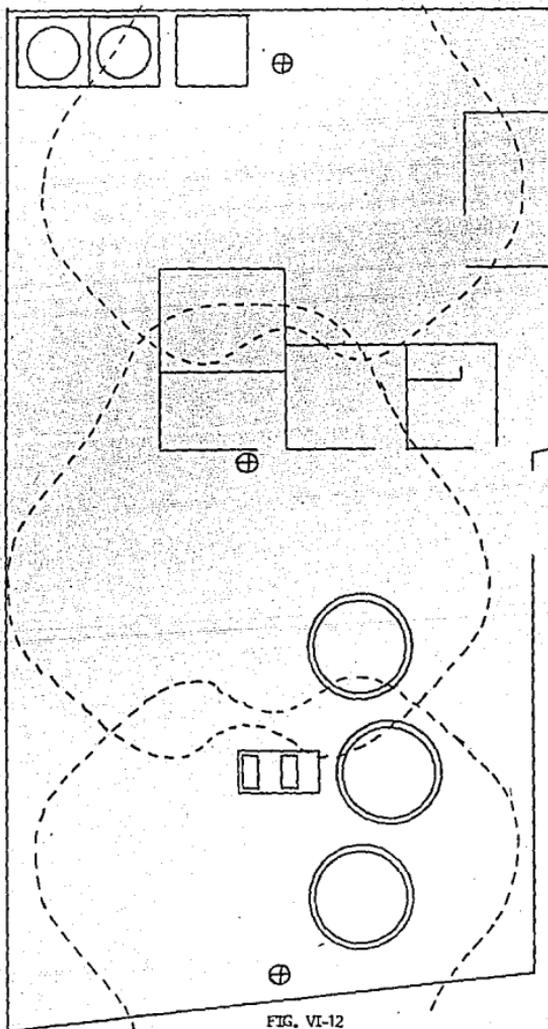
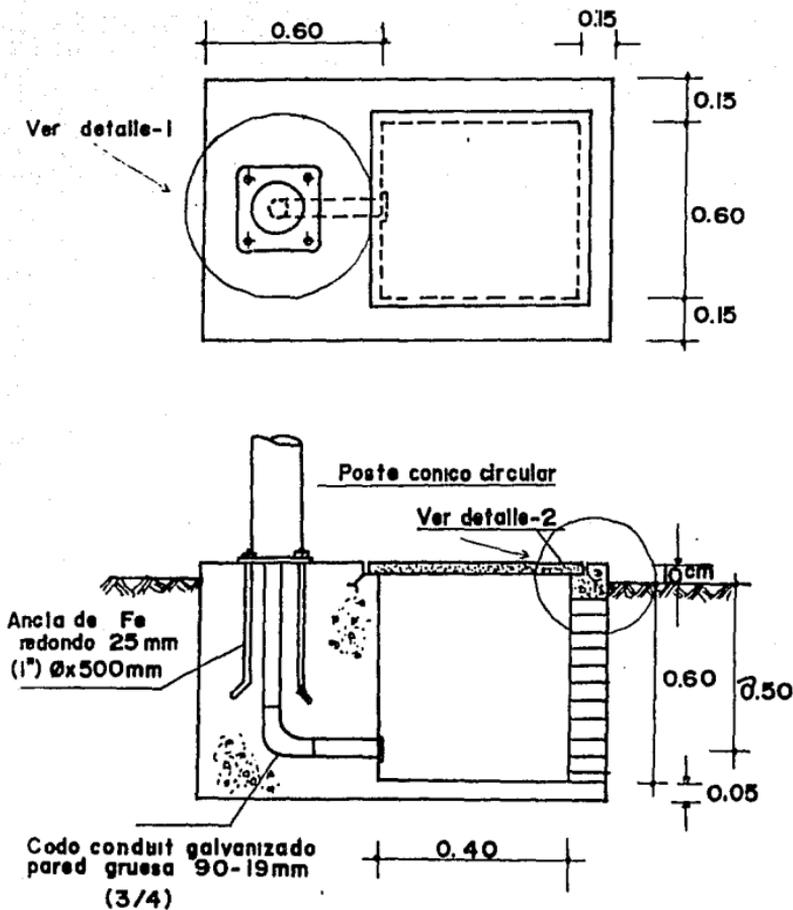
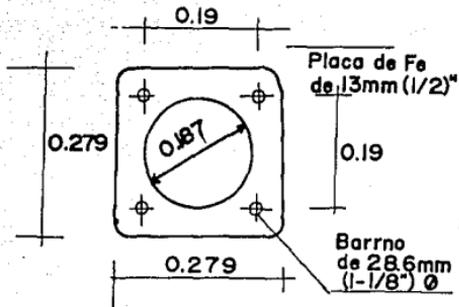


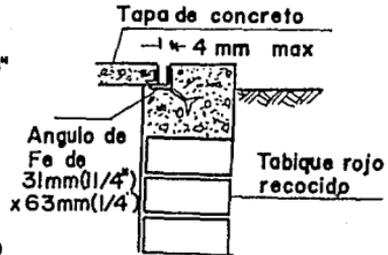
FIG. VI-12



REGISTRO-BASE PARA POSTE DE ILUMINACION



DETALLE - 1



DETALLE-2

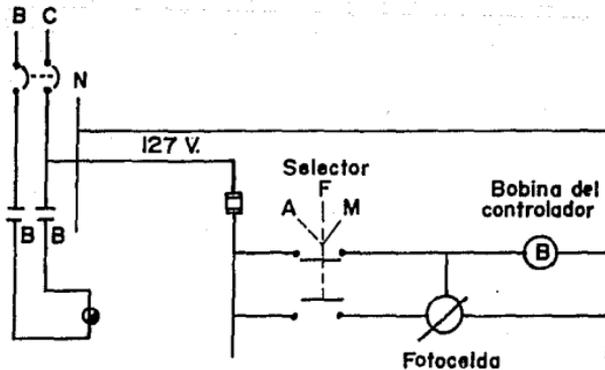
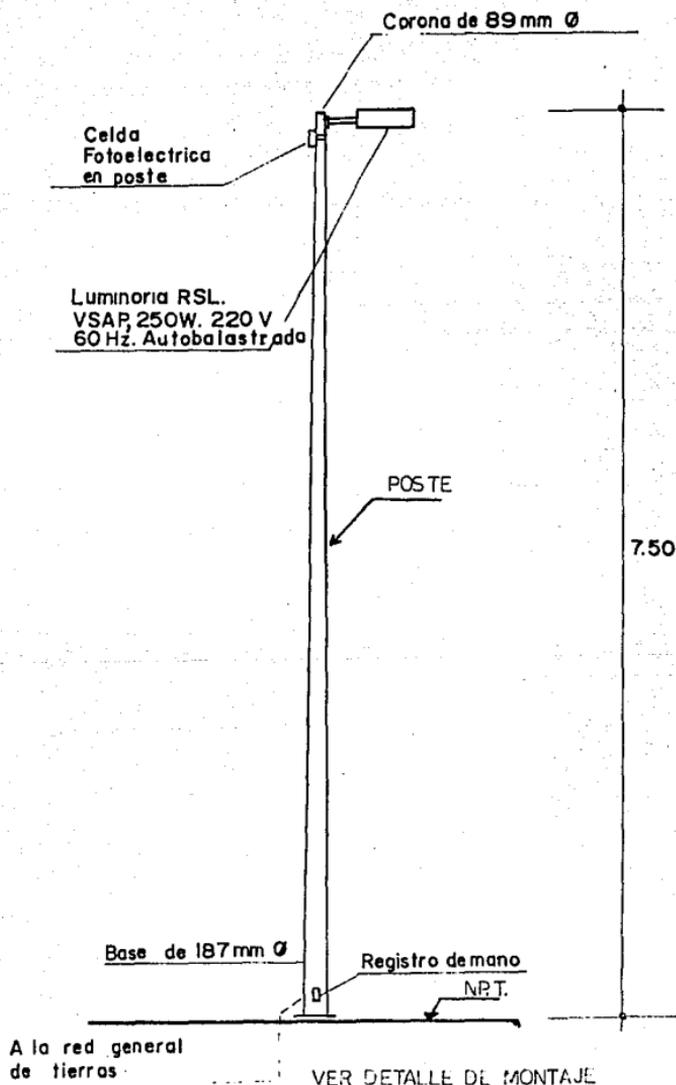
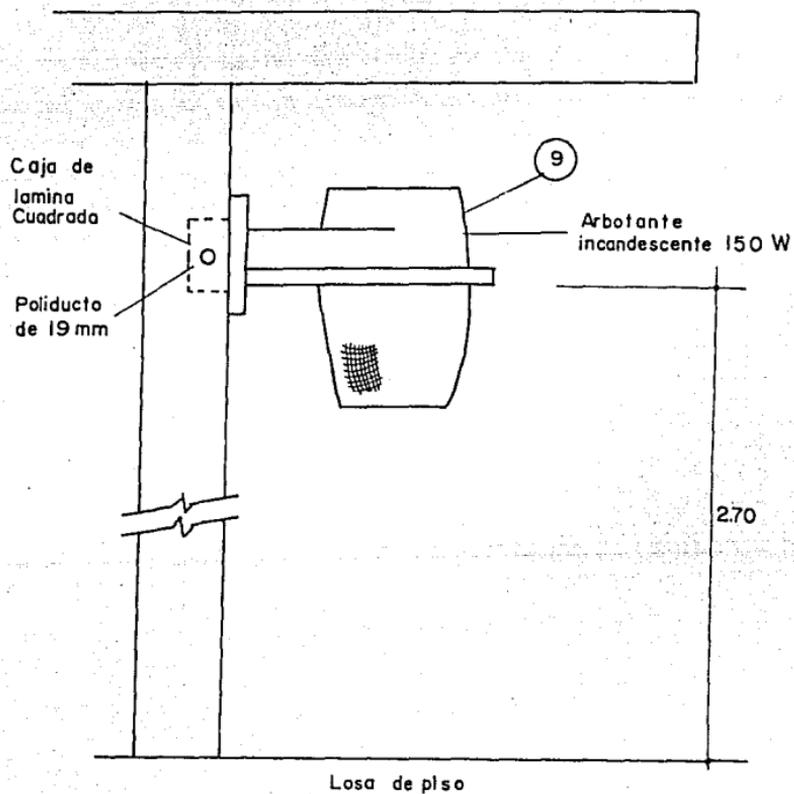


DIAGRAMA DEL CONTROL FOTOELECTRICO





DETALLE DE ,ARBOTANTE

#### 6.11 ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION.-

Estas especificaciones fueron elaboradas como complemento a los planos y las especificaciones particulares y las generales de los equipos.

No se pretende, por tanto, que estas especificaciones abarquen completamente los conceptos referentes a la instalación y al montaje, y no contemplan lo referente a cotizaciones, documentación, tiempos de entrega, estimaciones, pruebas, actualización de los planos, recepción de los equipos, recepción de los trabajos, programación de la obra, bitácora de la obra, juntas de coordinación, servicios en la obra, etc.

#### ♦ De la red de tierras.-

Los electrodos de tierra deberán ser instalados empleando los métodos aprobados por el NEC.

La profundidad de hincado de los electrodos será tal que la parte superior del electrodo quede a un mínimo de 60 cms. abajo del nivel del terreno.

Cuando los electrodos sean instalados en áreas pavimentadas o con losa de concreto, deberán instalarse

en registro con tapa, con objeto de tener acceso a ellos y poder realizar alguna inspección o prueba.

Los conductores que formen la red de tierras deberán instalarse a una profundidad mínima de 60 cm. por abajo del nivel del terreno y a una distancia mínima de 60 cm. de paredes, trabes u otras estructuras del edificio.

Todos los cables enterrados de la red deberán depositarse flojos, a menos que sean protegidos contra daños mecánicos y deberán ser cubiertos con relleno libre de escoria.

Las conexiones y uniones deberán hacerse empleando los conectores indicados, en los planos correspondientes.

Al poner los conectores, las superficies deberán estar limpias y secas. Las superficies metálicas deberán limarse o esmerilarse para remover posible herrumbre, grasa y polvo. El cobre y el acero galvanizado deberá limpiarse con lija para remover el óxido antes de hacer las conexiones.

Los cables de tierra que se dejen para futuras extensiones y conexiones, deberán ser enrollados y debidamente protegidos contra daños que pudieran sufrir durante la construcción. Si estos rollos se dejan

enterrados deberán ser debidamente marcados e identificados.

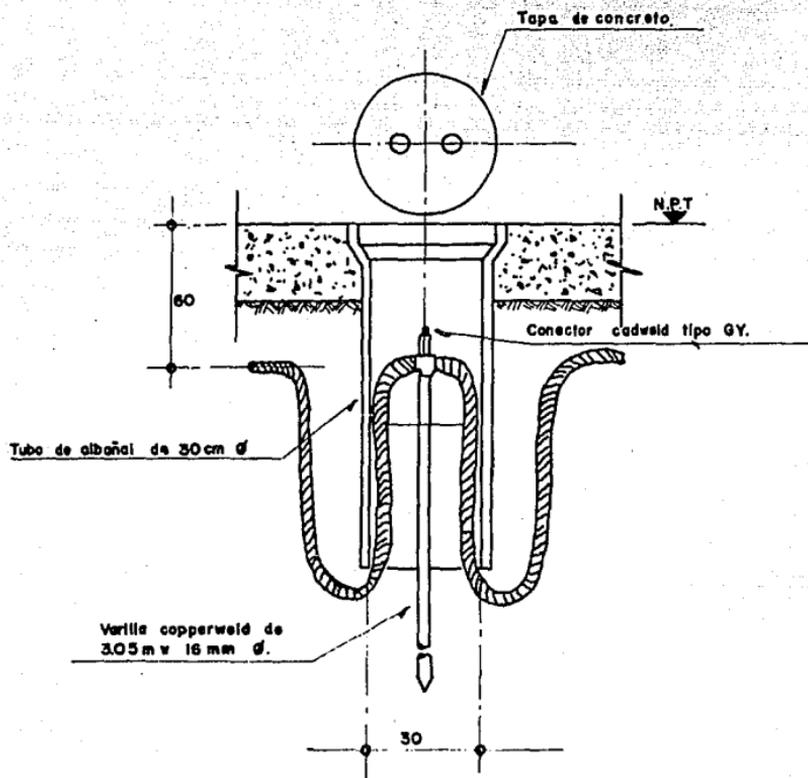
La resistencia a tierra debe ser medida en cada electrodo, tan pronto como sea posible después de su instalación y antes de conectarlo permanentemente al sistema de tierras. Los resultados de estas mediciones deberán ser tabulados y entregados al residente.

Las mediciones deberán llevarse a cabo por medio de un probador de resistencia "Megger".

Las pruebas deberán ser hechas cuando la atmósfera y la tierra estén tan secas como sea practicable. Las pruebas no deberán ser llevadas a cabo en un día lluvioso o antes de que el rocío se haya evaporado, y debe tenerse cuidado en mantener secas las terminales de los instrumentos. Deben emplearse conductores aislados para conectar los instrumentos al electrodo bajo prueba y a las conexiones auxiliares. Las pruebas no deben efectuarse tampoco durante tormentas de rayos.

Deben emplearse electrodos auxiliares o de referencia de 5/8" de diámetro y deberán ser clavados a una profundidad de, al menos 2 m. No deben emplearse las tuberías, postes de acero, cercas, etc. como electrodos de referencia.

No deben emplearse métodos artificiales para bajar la resistencia a tierra de los electrodos auxiliares, tales como aplicar agua o sustancias químicas. Si se sospecha una resistencia alta en los electrodos auxiliares, la varilla debe ser clavada más profundamente o añadirse electrodos unidos al electrodo original. Los electrodos adicionales deberán esparcirse 15 m., como mínimo, uno de otro.



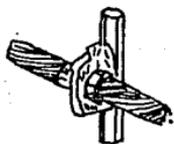
DETALLE ELECTRODO DE TIERRA



T A



X A



G Y



V S



L A

**DETALLES DE CONECTORES CADWELD**

## EQUIPOS DE ALTA TENSION



Interruptor ALDUTI  
13.8 KV 600 Amp.  
Apertura lateral.

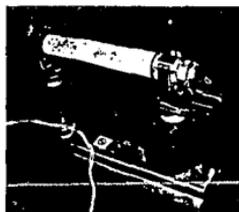
Interruptor ALDUTI  
34.5 KV 600 Amp. do-  
ble apertura lateral.



Cortacircuito XS para  
23 KV servicio exterior  
200 Amps. Máx.

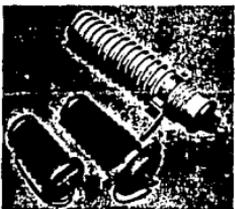


Cortacircuito de po-  
tencia SMD-20 para  
34.5 KV servicio exte-  
rior 20GE Amp. Máx.



Cortacircuito de po-  
tencia SM-4 para 14.4  
KV servicio exterior  
200 E Amp. Máx.

Cortacircuito de po-  
tencia SM-5 para 23  
KV servicio exterior  
400 E Amp. Máx.



## APARTARRAYOS

Autovalvulares, tipo distribución.  
Para sistemas desde 3 KV hasta 220 KV

Tipo de aterrizaje: Neutro a tierra, efectivamente ateri-  
zado o neutro aislado

Clase: Distribución, Intermedia y Estación.

## CONCLUSIONES

La lucha universal entre el hombre y el agua ha caracterizado a la ciudad de México de manera muy especial, por las circunstancias geológicas y climáticas que se son propias. Desde la fundación de Tenochtitlán, en 1325, hasta nuestro mismo tiempo, ha existido el problema de procurar agua para la subsistencia y de realizar obras de protección contra las inundaciones.

Debido a estos problemas, periódicamente se han estado construyendo plantas de bombeo como medios para ayudar al desalojo de aguas negras y pluviales; acción que evita desastres en muchas zonas de la capital.

En esto estriba la importancia del buen diseño y mejor funcionamiento de un sistema de bombeo. De ahí que sea preciso ser cuidadosos en los cálculos de equipos y material que ha de utilizarse en dichas plantas de bombeo.

Proyectos de esta índole someten a prueba los conocimientos adquiridos por el Ingeniero, no solamente en el área de su especialidad, sino también en otras. Es decir, en este trabajo se utilizan conceptos de: ingeniería eléctrica, mecánica, civil y otras disciplinas.

Para el ingeniero mecánico electricista es muy importante conocer, entre otras cosas, las normas técnicas oficiales aplicables para cada aspecto de la construcción o instalación, ya que estas normas permiten que haya un margen bastante apropiado de seguridad.

<b>BIBLIOGRAFIA</b>
---------------------

- 1.- "BOMBAS: SELECCION, USO Y MANTENIMIENTO"  
Kenneth J. Mc Naughton
  
- 2.- "BOMBAS: SU SELECCION Y APLICACION"  
Tyler G. Hicks, Bme.
  
- 3.- "MANUAL DE BOMBAS"  
Luis Ma. Jiménez de Cisneros
  
- 4.- "BOMBAS: TEORIA, DISEÑO Y APLICACION"  
Viejo Zubicaray Manuel
  
- 5.- "MEMORIAS DE LAS OBRAS DEL DRENAJE PROFUNDO"  
D D F
  
- 6.- "INDUSTRIAL POWER SYSTEMS"  
Beeman (Mc G. Hill)
  
- 7.- "MANUAL DEL INGENIERO ELECTRICISTA"  
Archer E. Knowlton
  
- 8.- "ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y DE DISTRIBUCION"  
Zobari (Labor)

- 9.- "NATIONAL ELECTRICAL CODE"  
Mc Graw Hill
- 10.- "NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS"  
SECOFI.- Dirección General de Normas
- 11.- "CURSO DE TRANSFORMADORES Y MOTORES TRIFASICOS DE  
INDUCCION"  
Gilberto Enriquez Harper
- 12.- "MANUAL ELECTRICO" PHELPS DODGE PYCSA
- 13.- "TRATADO DE ELECTRICIDAD"  
Ch. L. Dawes
- 14.- "MANUAL DE DATOS TECNICOS"  
Selmec
- 15.- "CADWELLD" CONEXIONES ELECTRICAS  
Mexerico, S.A.
- 16.- "CONDUMEX DIVISION CABLES"  
Catálogo General